ELEKTRIE 1|90

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399

Automatisierte Qualitätssicherung mit TuR-Hochspannungs-Prüftechnik

TuR DRESDEN

0120231

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

Mikrorechner-Meß- und Steuersystem TuR WGMS 12 – ein Baustein zur Automatisierung von Hochspannungsprüfungen

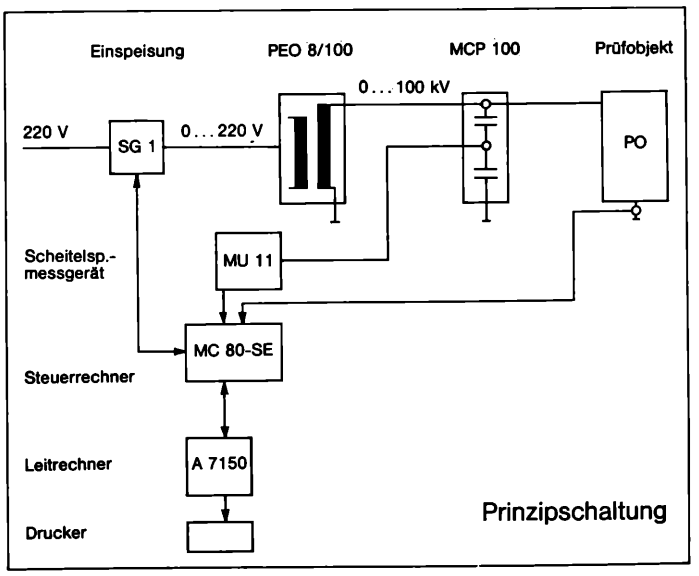
Aufbauend auf langjährige Erfahrungen in der Entwicklung und Produktion von Hochspannungs-Meß- und Prüftechnik bieten wir Ihnen als Systemlösung unser neues Meß- und Steuersystem TuR WGMS 12 an. Es ist geeignet, alle TuR-Gleich- und Wechselspannungsprüfanlagen sowie das Hochspannungs-Bausteinsystem automatisch zu betreiben, das Prüflingsverhalten zu erfassen, zu bewerten und zu protokollieren (Abbildung siehe Titelseite).

Umfangreiche, benutzerfreundliche Software gestattet den Einsatz des Systems sowohl in Forschung und Entwicklung als auch bei der Qualitätssicherung elektrotechnischer Erzeugnisse, die einer Hochspannungsprüfung unterzogen werden müssen. Das System WGMS 12 ist die Grundvariante eines Expertsystems, das in den nächsten Jahren weiter ausgebaut wird.

Als Vorteile sind zu nennen:

— Bedienerführung durch das System einschließlich der nötigen Informationen zur Prüf- und Meßtechnik
— Hohe Wiederholgenauigkeit des Prüfablaufes
— Vermeiden subjektiver Einflüsse auf die Prüfergebnisse
— Entlastung des Bedienpersonals von Routinehandlungen
— Freisetzung von Arbeitskräften bei Großzahlprüfungen und Langzeituntersuchungen
— Statistische Bewertung der Prüfergebnisse
— Sofortiger Protokolldruck
— Anpassungsfähig an neue Prüfaufgaben
— In komplexe Systeme integrierbar bzw. diese aus dem WGMS 12 ableitbar

Das Meß- und Steuersystem besteht aus einem 8-bit-Steuerrechner, der alle prozeßnahen und zeitkritischen Aufgaben übernimmt sowie einem 16-bit-Leitrechner.



Prinzipschaltung

Vom Leitrechner aus erfolgen die Bedienung des Systems, die Darstellung der Prüfergebnisse, die gesamte Auswertung sowie die Protokollierung. Bild 1 zeigt als Beispiel die Prinzipschaltung des Meß- und Steuersystems, die zur Software jeden Systems gehört, in Verbindung mit einem Wechselspannungs-Bausteinsystem WBS 4,4/100.

Der Steuerrechner arbeitet mit dem Leitrechner über eine Lichtleitstrecke zusammen, erhält vom Scheitelwertmeßgerät MU 11 als analoge Größe die Information zur Höhe der Prüfspannung und greift über ein Leistungsteil in die Steuerung SG 1 des Bausteinsystems ein. Durch- bzw. Überschläge des Prüflings PO werden vom Steuerrechner über einen getrennten Impulseingang erfaßt.

Je sechs digitale Ein- und Ausgänge, zwei Analogausgänge und sieben weitere Analogeingänge stehen darüber hinaus für weitere Meß-, Regel- und Steueraufgaben zur Verfügung.

Zum Schutz gegen elektromagnetische Einwirkungen sind sowohl der Steuer- als auch der Leitrechner in angepaßten Schirmgehäusen untergebracht, die Aufstellung in einer geschirmten Kabine und separate Stromversorgung sind nicht erforderlich.

Ihre Anfragen richten Sie bitte an:

VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern"
Overbeckstraße 48, Dresden, DDR — 8030

Exporteur:
AHB Elektrotechnik Export-Import
Alexanderplatz (Haus der Elektroindustrie)
Berlin, DDR — 1026

1|90 ELEKTRIE

44. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013–5399

Organ des Fachverbands
Elektrotechnik
der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die
Goldene Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat
Vorsitzender:
Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Ober-Ing. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil., Dr.-Ing. e. h. R. Lappe · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e.h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. Hannella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Titelbild

Das Mikrorechner-Meß- und Steuersystem „TuR-WGMS 12" dient der Automatisierung von Hochspannungs-Prüfprozessen sowohl bei der Qualitätssicherung als auch in Forschung und Entwicklung. Bei einer modernen Bedienerführung wird der optimale Ablauf des Prüfprozesses und die umfassende Verarbeitung der Daten einschließlich Protokollierung gesichert.
Das mit einem 16-bit-Leitrechner und 8-bit-Steuerrechnern arbeitende System kann als Grundstufe einer komplexen Prüffeldautomatisierung benutzt werden, fügt sich aber auch in übergeordnete Rechnersysteme ein.

VEB VERLAG TECHNIK
BERLIN

Träger des Ordens
Banner der Arbeit

Inhalt

Seite

Aktuelle Information 2

Schwab, H.
Geleitwort des Betriebsdirektors zu diesem thematischen Heft 3

Fachaufsätze

Hauschild, W.
Internationale und nationale Standardisierung zur Hochspannungsprüftechnik am Beispiel der neuen IEC-Publikation 60-1 4

Hauschild, W.; Spiegelberg, J.
Voraussetzungen zur Bestätigung von Hochspannungs-Meßsystemen 6

Schurawljew, E. N.; Jaroslawski, W. N.; Mauksch, S.; Spiegelberg, J.
Neues Spezialnormal für hohe Gleichspannungen aus der UdSSR 9

Maucksch, S.; Sähn, M.; Spiegelberg, J.
Neue Baureihe Preßgaskondensatoren 100 bis 700 kV 12

Schufft, W.
Elektroden an Hochspannungs-Prüfanlagen — funktionelle Bedeutung und technologischer Stand 14

JAHRESINHALTSVERZEICHNIS 1989 (43. Jahrgang) 17

Vetters, G.; Thümmler, K.
Neue Scheitelspannungs-Meßgeräte mit digitaler Direktanzeige 25

Schmiegel, P.
Teilentladungs- und Oberflächenladungsphänomene an Isolierstoffgrenzflächen in Luft bei Gleichspannungsbelastung 27

Menzel, W.; Bärsch, R.
Einfluß der Luftfeuchte auf den Überschlag von Kunststoff-Innenraumisolierungen mit Oberflächenbeschichtungen 30

Engelmann, E.; Pollack, A.
Neue Gerätegeneration für das Hochspannungs-Praktikum 33

Lobenstein, G.
Zur Heißpunktbestimmung in großen Transformatorspulen 34

Umschau

Fachtagungen 36

Aus anderen Zeitschriften 37

Bücher 37

AKTUELLE INFORMATION

Steuerung mechanischer Systeme

Fachtagung

Zeit: 6. bis 8. Februar 1990
Ort: TU Karl-Marx-Stadt
Veranstalter: TU Karl-Marx-Stadt, Sektion Automatisierungstechnik

Inhaltliche Schwerpunkte

- Theoretische Probleme der automatischen Steuerung
  - — Modellbildung
  - — Simulation
  - — Verfahren der Regelung und Steuerung/Algorithmen
- Gerätetechnik für Informationserfassung und -verarbeitung
  - — Sensoren/Aktoren
  - — industrielle Steuerungen
- Komplexe Automatisierungsstrukturen
  - — Steuerungsverbund/Leitsysteme
  - — Anwendung/CIM-Komponenten

Zielstellung der Tagung ist es, auf den Gebieten der Fertigungsautomatisierung, der Automatisierung im Be- und Verarbeitungsmaschinenbau sowie der Leicht- und Konsumgüterindustrie tätige Spezialisten zusammenzuführen, neueste Erkenntnisse auszutauschen und zu vermitteln.

Anfragen

sind schriftlich zu richten an:
Technische Universität Karl-Marx-Stadt
Sektion Automatisierungstechnik
Tagung „Steuerung mechanischer Systeme"
Postfach 964
Karl-Marx-Stadt, 9010
G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 3086

Elektroantriebstechnik und Elektroautomatisierungstechnik

7. Fachtagung mit internationaler Beteiligung

Zeit: 26. und 27. April 1990
Ort: TU „Otto von Guericke" Magdeburg
Veranstalter: Sektion Automatisierungstechnik und Elektronik

Thematische Schwerpunkte

- — Entwicklung der elektrischen Antriebstechnik im Zeichen der Schlüsseltechnologien
- — Einsatz elektrischer Antriebssysteme und Elektroautomatisierungslösungen im Schwermaschinen- und Anlagenbau
- — Rechnergestützter Entwurf von Baugliedern für Elektroantriebssysteme
- — Einsatz der Drehstromantriebstechnik.

Anfragen

sind zu richten an:
Technische Universität „Otto von Guericke" Magdeburg
Tagungsbüro: Tel. 592209, Telex 018214
Postschließfach 124, Magdeburg, 3010
M. Lehnert, Magdeburg EA 3097

7th International Symposium on high voltage Engineering (ISH '91)

Zeit: 26. bis 30. August 1991
Ort: Dresden
Veranstalter: Technische Universität Dresden

Auf dem 7. Internationalen Symposium Hochspannungstechnik sollen die neuesten Erkenntnisse der Hochspannungstechnik dargestellt und diskutiert werden. Damit wird die Tradition der vorangegangenen Symposium in München (1972), Zürich (1975), Mailand (1979), Athen (1983), Braunschweig (1987) und New Orleans (1989) fortgesetzt.

Themenkomplexe

1. Electric Field — Calculation and Measurement
2. Solid an Liquid Dielectrics and Insulations
3. Gaseous Dielectrics and Compressed-Gas Insulations, Vacuum
4. Air Breakdown, Outdoor Insulation, Pollution
5. HV Testing Equipment and Procedures
6. HV Measuring Techniques
7. PD Measurements and Diagnosis
8. Lighting, Fast Transients, EMC
9. Special Problems: Electrostatics, Precipitators, Biological HV Effects

Neben den wissenschaftlichen Veranstaltungen sind geplant:

- — eine Ausstellung von Erzeugnissen der Hochspannungs-Prüf- und -Meßtechnik, einschließlich der Diagnosetechnik
- — technische Exkursionen
- — Programm für Begleitpersonen

Konferenzsprache: Englisch
Meldeschluß
für Beiträge: 15. September 1990

Anfragen

ISH'91 — Prof. *Mosch*
Technische Universität Dresden
Sektion Elektrotechnik
Mommsenstraße 13
Dresden
8027
Die Redaktion EK 4087

Zum Jahreswechsel

wünschen wir allen unseren Lesern, Autoren, Beiratsmitgliedern und Korrespondenten viel Erfolg, Gesundheit und persönliches Wohlergehen.

Ihre Redaktion

Optoelektronische Sensorsysteme und digitale Signalverarbeitung

3. Tagung im Rahmen der Tage der Wissenschaft und Technik 1990 der TH Wismar

Zeit: 27. bis 31. August 1990
Ort: TH Wismar
Veranstalter: TH Wismar, Sektion Technologie der Elektrotechnik/Elektronik

Inhaltliche Schwerpunkte

- — Bildaufnahme
- — Digitale Signalverarbeitung
- — Anwendung optoelektronischer Sensorsysteme

Daneben sollen in einer Übersichts-Ausstellung wesentliche Kenndaten realisierter Einrichtungen zusammengefaßt und gegebenenfalls der Nachnutzung zugänglich gemacht werden.

Anfragen

Technische Hochschule Wismar
Tagungsbüro
Philipp-Müller-Straße
Wismar
2400
Die Redaktion EK 4092

Veranstaltungen 1990 an der Technischen Universität „Otto von Guericke" Magdeburg

- — 5. Arbeitsseminar „Mathematische Aspekte der Informatik"
  9 bis 13. April 1990
- — 7. Fachtagung „Elektroantriebstechnik und Elektroautomatisierungstechnik"
  26. und 27. April 1990
- — 3. Fachtagung "Anlagenexport,,
  17. und 18. Mai 1990
- — 6. Fachtagung „Thermischer Apparatebau"
  26. und 27. Juni 1990
- — 8. Fachtagung „Fortschritte bei der Konstruktion und Berechnung von Ausrüstungen des Chemieanlagenbaus"
  3. und 4. Juli 1990
- — 5. Fachtagung „Brand- und Explosionsschutz"
  16. und 17. Oktober 1990
- — Geschichtskolloquium „Methodologische Probleme der regionalen Parteigeschichtsforschung und -darstellung"
  23. und 24. Oktober 1990
- — 3. Fachtagung „Meßtechnik für thermische und hydraulische Größen"
  13. und 14. November 1990
- — 8. Fachtagung „Hydraulik und Pneumatik"
  27. und 28. November 1990

Anfragen

Technische Universität
„Otto von Guericke" Magdeburg
Tagungsbüro
Postschließfach 124
Magdeburg
3010
Die Redaktion EK 4074

Geleitwort des Betriebsdirektors zu diesem thematischen Heft

Von
Dipl.-Ing. Horst Schwab
Betriebsdirektor des VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden

Nunmehr liegt Ihnen bereits das sechste der Hochspannungsprüftechnik gewidmete Heft der ELEKTRIE vor. Wie auch in den bisherigen Heften (7/81, 4/83, 10/84, 6/86, 4/88) sollen aktuelle Probleme dieses Spezialgebietes und das wissenschaftliche Niveau der Erzeugnisse der Hochspannungsprüftechnik an Beispielen dargestellt werden.

Im Zeitraum der letzten 10 Jahre wurden im Auftrag des VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden (TuR) Forschungsthemen an der Technischen Universität Dresden, der Technischen Hochschule Zittau sowie weiteren Forschungseinrichtungen bearbeitet, die in der stattlichen Zahl von 9 Dissertationen zusammengefaßt sind. Im Ergebnis dieser Arbeiten sowie in der konsequenten Nutzung der internationalen Zusammenarbeit gelang es, mit einem relativ kleinen Entwicklungskollektiv nahezu das gesamte Produktionssortiment zu erneuern und zu erweitern.

Dazu gehören solche Spitzenleistungen wie

- 3-MV-Wechselspannungsprüfanlage
- Hochspannungsbausteinsystem
- Mikrorechnersteuerung für Prüfanlagen
- 2,1-MV-Gleichspannungsprüfanlage mit schnellem Polaritätswechsel

sowie viele Lösungen auf dem Gebiet der Kabelprüfung und der Vor-Ort-Hochspannungsprüfung.

Viele der genannten Beispiele wurden für bestimmte Auftraggeber entwickelt, jedoch stets so konzipiert, daß sie auf vorhandene Systemlösungen zurückgehen und diese gleichzeitig erweitern. Beispielweise beschäftigen wir uns derzeit mit einer Reihe von Anfragen, die auf Lösungen aus der Entwicklung der 3-MV-Wechselspannungsprüfanlage (Prüftransformator, Schaltspannungszusatz) zurückgreifen.

Höhere Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Qualitätskontrolle der mit unseren Ausrüstungen zu prüfenden Anlagen beeinflussen nicht unwesentlich den Entwicklungstrend der HS-Prüftechnik. Diesem Zweck dient die Überarbeitung der Standards auf dem Gebiet der Hochspannungs-Prüf- und Meßtechnik, der mehrere Arbeiten dieses Heftes gewidmet sind. Hervorzuheben ist der internationale Charakter dieser Standardisierungs-Arbeiten im Rahmen der IEC und der diesen vorangehenden Arbeiten im Rahmen der CIGRE, an denen Mitarbeiter des VEB TuR aktiv beteiligt sind.
Beispielsweise war der VEB TuR Dresden gemeinsam mit der TU Dresden im vergangenen Jahr Gastgeber für die IEC-Working-Group 42.07, die sich mit der Standardisierung der Hochspannungsprüfungen beschäftigt. Durch diese Zusammenarbeit können im Jahre 1990 die überarbeiteten IEC-Empfehlungen 60-1 und 60-2 wörtlich als DDR-Standard (TGL) übernommen werden. Im Blick auf die Zukunft berücksichtigen Neuentwicklungen von TuR-Prüfanlagen bereits heute Diskussionen in CIGRE und IEC und werden somit erwartungsgemäß auch den IEC-Empfehlungen der kommenden Jahre entsprechen.

Beispielsweise erfolgte unter Federführung eines TuR-Mitarbeiters die Zusammenstellung der empfohlenen statistischen Methoden in der Planung und Auswertung von Hochspannungsprüfungen, die als Ergebnisse internationaler Arbeitsgruppentätigkeit im nächsten ELECTRA-Heft (CIRGE-Zeitschrift) veröffentlicht wird.

Selbstverständlich sind diese Methoden auch Gegenstand unserer mit dem Mikrorechnersteuer- und Auswertesystem (siehe Umschlagseite) angebotene Software.

Höhepunkt auf dem Gebiet der internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Hochspannungstechnik des vergangenen Jahres stellte zweifellos das 6. Internationale Symposium Hochspannungstechnik (ISH) dar, das in New Orleans/USA stattfand. Der VEB TuR beteiligte sich mit einer Ausstellung. Darüber hinaus wurden von TuR-Mitarbeitern ein Einführungsvortrag gehalten sowie drei wissenschaftliche Beiträge in Plenar- bzw. Postersession vorgestellt. Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse des Symposiums kann leider aus Platzgründen erst in einem der nächsten Hefte der Fachzeitschrift ELEKTRIE erfolgen.

In Anerkennung der aktiven Mitarbeit der DDR in internationalen Gremien der Hochspannungstechnik wurde die Technische Universität Dresden ausgewählt, das nächste Symposium (ISH) im Jahre 1991 auszurichten (s. S. 2). Damit wird erstmalig diese bedeutende Veranstaltung in einem sozialistischen Land stattfinden. Das Symposium, das unter der Schirmherrschaft des Ministers für Wissenschaft und Technik der DDR steht, wird unter aktiver Mitwirkung des VEB TuR, weiterer Betriebe sowohl des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau als auch anderer Kombinate vorbereitet. Gewiß wird auch die ELEKTRIE nach den guten Erfahrungen der Zusammenarbeit in den Prozeß der Vorbereitung und Berichterstattung einbezogen. Das Symposium dürfte auch in den Zeitraum fallen, in dem wir beabsichtigen, uns erneut mit einem solch thematisch orientierten Heft wie diesem vorzustellen.

EK 4094

Internationale und nationale Standardisierung zur Hochspannungsprüftechnik am Beispiel der neuen IEC-Publikation 60–1

W. Hauschild, KDT, Dresden

Mitteilung aus dem VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden

1. Übersicht zum aktuellen Stand

Die IEC-Publikationen der Hochspannungsprüftechnik (Tafel 1) werden vom gleichnamigen Technischen Komitee (TC) 42 der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) betreut, in dem die DDR seit 1981 aktiv mitarbeitet. Durch die Mitarbeit wird das Ziel verfolgt, die nationale Standardisierung der Hochspannungsprüftechnik (Tafel 1) durch wörtliche Übernahme der IEC-Publikationen vollständig mit dem internationalen Stand zu harmonisieren. Das schließt das zukünftige Vorgehen im RGW ein, da sich die Mitglieder der RGW-Organisation der Hochspannungs- und Hochleistungsprüffelder „Interelektrotest" für eine gleichartige Verfahrensweise in ihren jeweiligen Ländern sowie beim RGW-Standard ausgesprochen haben. Die ständige Nationale Arbeitsgruppe (SNAG) IEC — TC 42 der DDR sieht dementsprechend ihre Aufgabe nicht nur in der Mitarbeit in der IEC, sondern gleichermaßen in der nationalen Umsetzung und auch — wie erwähnt — bei den Abstimmungen im RGW.

In den drei bestehenden Arbeitsgruppen des TC 42 arbeitet die DDR direkt oder korrespondierend mit. Ebenso gibt es eine Mitarbeit in der CIGRE-Arbeitsgruppe 33.03 „Hochspannungsprüftechnik", die die Grundlagenarbeit für IEC — TC 42 leistet. Es kann daher frühzeitig unter Mitwirkung des KDT-FUA 0.4 „Hochspannungsprüftechnik" entschieden werden, ob ein in der IEC laufendes Standardisierungsvorhaben in TGL eine Entsprechung finden soll oder ob es genügt, national direkt mit der IEC-Publikation zu arbeiten (vgl. Tafel 1). Die erste wörtliche Übernahme, übrigens eine der ersten wörtlichen Übernahmen einer IEC-Publikation in das DDR-Standardwerk überhaupt, erfolgte 1984 mit der IEC-Publikation 270 „Teilentladungsmeßtechnik" [1] als TGL 20625 [2]. Jetzt steht mit der Übernahme der IEC-Publikation 60-1 [3] ein wichtiger Schritt unmittelbar bevor, denn der neue Standard, für den die Nummer TGL IEC 60-1 angestrebt wird, soll eine ganze Reihe bisherige Standards ersetzen (vgl. Tafel 1). Die DDR hat bei der Entstehung von IEC 60-1 in der damit beauftragten IEC-Arbeitsgruppe 42.05 mitgewirkt und 1988 den Entwurf in der 6-Monate-Regel bestätigt. Die internationale Annahme erfolgte mit 20:1 Länderstimmen. Es bestehen also gute Voraussetzungen für die Übernahme als TGL. Nachfolgend werden Veränderungen und Ergänzungen gegenüber den bisherigen Standards, die mit der neuen IEC 60-1 und damit mit der künftigen TGL IEC 60-1 verbunden sind, kurz erläutert.

2. Allgemeines zur IEC-Publikation 60-1

Der Standard bezieht sich auf Hochspannungsprüfungen mit Gleich-, Wechsel- und Impulsspannungen sowie daraus zusammengesetzten Spannungen (bisher im Deutschen als „Mischspannungen" bezeichnet) und auf Prüfungen mit Impulsströmen an elektrischen Betriebsmitteln, deren Isolationsspannung oberhalb 1 kV liegt. Die Impulsspannungen werden wie bisher üblich in Blitz- und Schaltspannungen unterteilt, wobei die Unterscheidung nach der Stirnzeit $t_s = 20\ \mu s$ eingeführt wird ($t_s \leqq 20\ \mu s$: Blitzspannung, $t_s > 20\ \mu s$: Schaltspannung).

Der Standard definiert die in der Hochspannungsprüftechnik erforderlichen Begriffe und klassifiziert die Isolierungen, wobei es kaum Änderungen gegenüber der bisherigen Praxis gibt. Es schließen sich allgemeine Anforderungen an Prüflinge und Prüfprozeduren (Trocken-, Regen- und Fremdschichtprüfungen, Korrektur auf Bezugsatmosphäre) an. Für die erwähnten Spannungen bzw. Impulsströme werden Anforderungen formuliert und Methoden zu ihrer Erzeugung und Messung beschrieben. Die dazu erforderlichen Meßsysteme sind aber Gegenstand der zukünftigen IEC-Publikation 60-2 (Tafel 1). Letztlich behandelt der Standard Prüfprozeduren einschließlich der Kriterien für Annahme oder Ablehnung sowie Methoden der statistischen Auswertung. Einen Überblick über die Hauptabschnitte enthält auch die Tafel 1.

Der Standard liefert allgemeine Grundlagen der Hochspannungsprüftechnik und läßt Abweichungen bei speziellen Geräteprüfungen durchaus zu, wenn sie vom zuständigen Technischen Komitee der IEC als notwendig angesehen werden. Beispielsweise wird für Schaltspannungen eine Rückenhalbwertzeit $t_R = (2500 \pm 750)\ \mu s$ in IEC 60-1 standardisiert, bei Transformatorprüfungen ist dieser Wert wegen der Sättigungserscheinungen nicht erreichbar, so daß das zuständige TC 14 z. B. in IEC 76-3 [4] einen davon abweichenden Wert (z. B. $t_R = 500\ \mu s$) standardisieren kann.

Für Hochspannungsprüfungen an Niederspannungsbetriebsmitteln wird gegenwärtig ein separater IEC-Standard erarbeitet (Tafel 1), der sich eng an IEC 60-1 anlehnen wird. Ausdrücklich wird darauf hingewiesen, daß IEC 60-1 nicht dafür vorgesehen ist, beim Nachweis der elektromagnetischen Verträglichkeit an elektrischen oder elektronischen Ausrüstungen verwendet zu werden. Allerdings bestehen auch hier gewisse Parallelen, die Abstimmungen zwischen dem TC 42 und dem zuständigen TC 77 erforderlich machen.

3. Ausgewählte Festlegungen der neuen IEC-Publikation 60-1

3.1. Fremdschichtprüfungen

Im TC 42 wurde sehr intensiv diskutiert, ob ein ausführlicher Abschnitt über Fremdschichtprüfungen überhaupt in IEC 60-1 aufgenommen werden sollte, weil mit der vom TC 36 betreuten IEC 507 [5] dafür ein sehr ausführlicher Standard vorliegt. Eine aktuelle Überarbeitung von IEC 507 wird demnächst abgeschlossen, die Übernahme als TGL von der SNAG IEC-TC 36 vorgesehen. Damit wird zukünftig international und national zu Fremdschichtprü-

Tafel 1. IEC-Publikationen des TC 42 und DDR-Vorschriften TGL zur Hochspannungsprüf- und -meßtechnik

Problemkreis	IEC		TGL
	bisher	neu	Stand 08/89
Hochspannungsprüftechnik			
– Definitionen			20618/01
– Allg. Forderungen			20618/03
– Regenprüfung	60-1		20618/05
– Verschmutzungsprüfung	(1973)		20618/06
– Atmosph. Bedingungen			20618/02
		60-1 (1989)	
– Gleichspannungsprüfungen			–
– Wechselspannungsprüfungen			20620
– Blitzspannungsprüfungen	60-2		20621
– Schaltspannungsprüfungen	(1973)		20622
– Impulsstromprüfungen			–
– Statistische Auswertungen			20618/07
Hochspannungsmeßtechnik			
– Meßgeräte und -systeme	60-3 (1976)	als 60-2 in Vorbereitung (WG 42.07)	20623
– Anwendungshinweise für Meßgeräte	60-4 (1977)		
Kugelfunkenstrecken	52 (1960)		20624
Oszilloskope und Scheitelspannungsmeßgeräte für Impulsspannung	790 (1984)		keine TGL, erforderlich Bezug auf IEC
Transienterrekorder für Impulsprüfungen	in Vorbereitung (WG 42.08)		noch keine Entscheidung
Feldstärkemessungen bei Wechselspannung	833 (1987)		keine TGL erforderlich, Bezug auf IEC
Teilentladungsmessung	270 (1981)		20625
Hochspannungsprüfungen an Niederspannungs-Betriebsmitteln	in Vorbereitung (WG 42.09)		noch keine Entscheidung

Dr. sc. techn. *Wolfgang Hauschild* ist Leiter des Anlagenlabors im VEB Transformatoren- und Röntgenwerk Dresden und Vorsitzender der SNAG IEC – TC 42,, Hochspannungsprüftechnik".

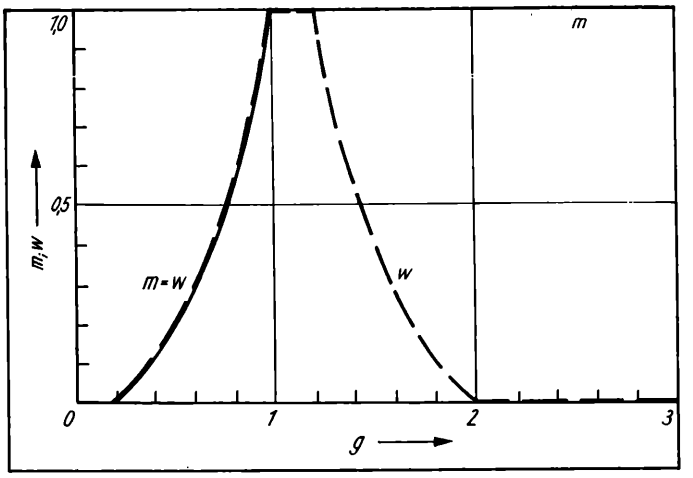


Bild 1
Exponenten m und w für Luftdichte und Feuchtefaktor rektur abhängig von der Funkenstreckencharakteristik g

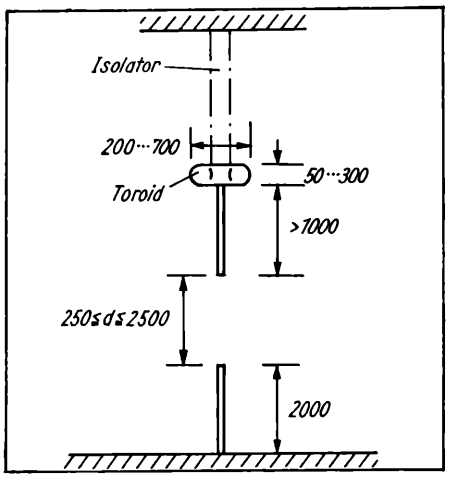


Bild 2
Vertikale Stabfunkenstrecke als bestätigtes Meßgerät für Gleichspannung (Stäbe mit quadratischem Querschnitt a = 15 bis 20 mm; scharfkantig abgeschnitten)

fungen eine gewisse Doppelgleisigkeit bestehen: Während IEC 60-1 das Salznebelverfahren und das Verfahren mit vorheriger Fremdschichtablagerung in den Grundzügen angibt, wird IEC 507 eine umfassende Darstellung der Fremdschichtprüfungen an Isolatoren enthalten.

3.2. Korrektur auf Bezugsatmosphäre

Die Durchführung der atmosphärischen Korrektur auf die Bezugswerte (20 °C; 101,3 kPa; 11,0 g/m³) wurde wesentlich geändert [8]: Es wird von der relativen Luftdichte δ und einem Feuchtefaktor k ausgegangen, der abhängig von absoluter Feuchte h, Luftdichte δ und Spannungsform (c = 0,012 bei Wechsel-; c = 0,014 bei Gleich-; c = 0,010 bei Impulsspannung) zu

$$k = 1 + c\,(h/\delta - 11) \tag{1}$$

berechnet wird. Mit Hilfe des Parameters g, bestimmt aus dem Erwartungswert der Durchschlagspannung $\hat{U}_d$ und der Schlagweite s:

$$g = \frac{\hat{U}_d}{500\ s/m\ \delta\ k}, \tag{2}$$

(U_a in kV) wird die Funkenstrecke charakterisiert [8], da g die spezifische Durchschlagspannung mit dem Spannungsbedarf des Streamers (500 kV/m) vergleicht. Bei $0 < g < 1$ erfolgt ein Streamer-Leader-Durchschlag, bei $1 \leqq g \leqq 2$ ein reiner Streamer-Durchschlag und bei $g > 2$ erfolgt der Durchschlag ohne Vorentladungen. Abhängig von g werden dann die Exponenten m und w aus Bild 1 bestimmt, mit denen der atmosphärische Korrekturfaktor

$$K_t = (\delta)^m \cdot (k)^w \tag{3}$$

ermittelt werden kann, der dann in bekannter Weise anzuwenden ist.

3.3. Gleichspannungsprüfungen

Für Gleichspannungen ist der Ripple-Faktor als Maß für die Welligkeit von bisher zulässigen 5 % auf 3 % reduziert worden. Eine Gleichspannung muß — wie auch eine Wechselspannung — bei Prüfzeiten $t_p \leqq 1$ min mit einer Toleranz von 1 %, bei $t_p > 1$ min mit einer Toleranz von 3 % eingestellt werden. Kurzzeitige Spannungseinbrüche durch stromstarke Vorentladungen bis 10 % werden zugelassen. Für Fremdschichtprüfungen wird noch keine Festlegung getroffen, jedoch sollte dort der gleiche Spannungseinbruch bei einem modellierten Vorlichtbogen-Stromimpuls (z. B. Rechteckimpuls 1 A; 1 s) zugelassen werden (s. z. B. [6]).
Als bestätigtes Meßgerät für Gleichspannung wird nach Untersuchungen der Arbeitsgruppe CIGRE 33.03 eine Stabfunkenstrecke (Bild 2) eingeführt, bei der mit einer Unsicherheit kleiner 3 % zwischen Durchschlagspannung und Abstand ($d \geqq 250$ mm)

$$U_d = 2 + 0{,}534\ d \tag{4}$$

gilt (U_d in kV, d in mm).

3.4. Wechselspannungsprüfungen

Die Anforderungen an den Kurzschlußstrom der Wechselspannungsprüfanlagen sind präzisiert worden (Parallelkapazität 0,5 bis 1 nF):

$I_k \approx 0{,}1$ A	für kleine Prüfanordnungen mit flüssigen und festen Isolierstoffen
$I_k > 0{,}1$ A	für Trockenprüfungen äußerer Isolierungen
$I_k > 0{,}5$ A	für Regenprüfungen (bei großen Prüflingen ≈ 1 A)
I_k bis 15 A	für Fremdschichtprüfungen, für die noch Zusatzbedingungen formuliert werden.

Es wird darauf hingewiesen, daß Wechselspannungsprüfanlagen mit Resonanzkreisen nicht für Regen- und Fremdschichtprüfungen eingesetzt werden können.

3.5. Impulsströme

Für die Prüfung von Ableitern werden neben den bisherigen Rechteckimpulsen und aperiodischen Impulsen der Form 8/20 und 4/10 die Impulse 1/20 und 30/80 standardisiert (jeweils Stirnzeit/Rückhalbwertszeit in µs).

3.6. Prüfungen mit Mischspannungen

Erstmalig werden Mischspannungen standardisiert, die aus den zuvor beschriebenen Prüfspannungen zusammengesetzt sind. Wird jede der beiden Spannungen an einen anderen Anschluß des Prüflings gelegt, und die Spannungsquellen arbeiten gegen Erde, so spricht man von einer „kombinierten Spannung" (combined voltage). Werden die beiden Prüfanlagen parallel oder in Reihe geschaltet, so wird die „zusammengesetzte Spannung" (composite voltage) an eine Prüflingsklemme gelegt.
Die beiden Prüfspannungen, z. B. eine Wechsel- und eine Blitzspannung, müssen zu einem bestimmten Zeitpunkt überlagert werden, der durch die zeitliche Differenz der beiden Scheitelaugenblicke beschrieben wird, also z. B.

$$\Delta t = t\,(\hat{U}_{\text{Wechsel}} - t\,(\hat{U}_{\text{Blitz}}).$$

Bei $\Delta t = 0$ sind die beiden Spannungen synchronisiert. Die zulässige Toleranz leitet sich von der längeren der beiden Scheitelzeiten zu $\Delta t_z = 0{,}05\ t_{s\,max}$ ab (bei 50-Hz-Wechselspannung folgt mit $t_{s\,max} = 5000$ µs dann $\Delta t_z = 250$ µs). Es ist zu beachten, daß sich in der Regel die beiden Prüfanlagen gegenseitig beeinflussen.

3.7. Statistische Auswertungen

Ein Anhang über statistische Auswertungen wurde völlig neu gefaßt. Die Prüfverfahren werden in Konstantspannungsversuche (multiple level tests), Auf-Ab-Versuche (einschließlich der erweiterten Verfahren) und Spannungssteigerungsversuche („successive discharge tests") unterteilt. Für ihre Auswertung wird neben klassischen Verfahren (Momentenschätzungen der Parameter) auch die Maximum-Likelihood-Methode angegeben. Allerdings liefert die Darstellung nur einen Überblick zum möglichen Vorgehen, eine Anleitung zum Handeln wird z. Z. ergänzend von der Arbeitsgruppe CIGRE 33.03 vorbereitet [9].

4. Weiteres Vorgehen

Die Übernahme von IEC-60-1 als TGL (möglichst unter der Nummer TGL IEC 60-1) ist eingeleitet, 1991 wird die neue TGL voraussichtlich verbindlich und die bisherigen Vorschriften (Tafel 1) werden abgelöst. Etwa zum gleichen Zeitpunkt kann auch IEC 507 als TGL übernommen werden. Berücksichtigt man noch die Identi-

tät zwischen IEC 270 und TGL 20625 (TE-Meßtechnik) sowie die inhaltliche Übereinstimmung von IEC 52 mit TGL 20624, so wird 1991 der wesentliche Teil des nationalen Standardwerks zur Hochspannungsprüftechnik mit IEC identisch sein.
Es ist einzuschätzen, daß die Erarbeitung der neuen IEC 60-2 über Meßsysteme für hohe Spannungen und Impulsströme noch erheblicher internationaler Abstimmungen bedarf und nicht vor 1991 abgeschlossen sein wird. Mit der Übernahme dieses Standards als TGL 20623 kann also kaum vor 1992/93 gerechnet werden. Doch wird gerade dieser Standard gravierende Veränderungen für die Bestätigung von Meßsystemen bringen, so daß es bereits heute notwendig ist, sich darauf einzustellen (siehe hierzu [10] im gleichen Heft).
Auch der künftige IEC-Standard über Hochspannungsprüfungen an Niederspannungsbetriebsmitteln sollte in das nationale Standardwerk übernommen werden. Dagegen ist die Übernahme des vorgesehenen IEC-Standards über Transientrekorder als TGL wohl nicht erforderlich. Hier kann national, wie heute bereits bei IEC 790 und IEC 833 (Tafel 1), direkt mit den IEC-Vorschriften gearbeitet werden.

5. Zusammenfassung

Die Aktivitäten des TC 42 der IEC zur Aktualisierung der IEC-Publikationen auf dem Gebiet der Hochspannungsprüftechnik (Tafel 1) werden mit dem Schwerpunkt der Erläuterung der neuen IEC 60-1 vorgestellt. In das nationale Standardwerk werden diese IEC-Publikationen entweder identisch übernommen, oder es wird auf einen nationalen Standard verzichtet und in der DDR mit den IEC-Standards gearbeitet. In den Gremien des RGW wird ebenfalls die Übernahme der IEC-Publikationen vorbereitet.

Literatur

[1] IEC-Publikation 270 (1981). Partial discharge measurements (Teilentladungsmessungen).
[2] TGL 20625. Hochspannungsprüftechnik, Messung von Teilentladungen, Allgemeine Richtlinie. Ausgabe 11.84
[3] IEC-Publikation 60-1 (1989). High-voltage test techniques. Part 1: General definitions and test requirements (Hochspannungsprüftechnik, Teil 1: Allgemeine Definitionen und Prüfanforderungen)
[4] IEC-Publikation 76-3 (1980). Power transformers. Part III: Insulation levels and dielectric tests. (Leistungstransformatoren. Teil III: Isolationspegel und Isolationsprüfungen)
[5] IEC-Publication 507 (1975, z.Z. in Überarbeitung). Artificial pollution tests for H. V. insulators to be used on A. C. systems (Künstliche Fremdschichtprüfungen an Hochspannungsisolatoren für Wechselspannungsanlagen)
[6] *Hauschild, W.; Spiegelberg, J.; Wolf, J.:* Calculation of the pollution test characteristic of a powerful direct voltage generator (Berechnung der Fremdschicht-Prüfcharakteristik eines leistungsstarken Gleichspannungsgenerators). 5. ISH, Beitrag 62.09. Braunschweig (1987)
[7] *Feser, K.; Hughes, R. C.:* Measurement of direct voltage by rod-rod gap (Messung von Gleichspannung mit einer Stabfunkenstrecke). ELECTRA No. 117, S. 23–34
[8] *Feser, K.; Pigini, A.:* Influence of atmospheric conditions on the dielectric strength of external insulation (Einfluß der atmosphärischen Bedingungen auf die elektrische Festigkeit äußerer Isolierungen). ELECTRA No. 112, S. 83–95
[9] *Carrera, G.; Gururaj; Hauschild, W.:* Statistical evaluation of dielectric test results (Statistische Auswertung von Hochspannungsprüfungen). In Vorbereitung für ELECTRA (1990 oder 1991)
[10] *Hauschild, W.; Spiegelberg, J.:* Gerätemäßige Voraussetzungen zur Beglaubigung von Hochspannungs-Meßsystemen. ELEKTRIE 43, Berlin (1990) 1, S. 6–8

Voraussetzungen zur Bestätigung von Hochspannungs-Meßsystemen

W. Hauschild, KDT; J. Spiegelberg, KDT, Dresden

Mitteilung aus dem VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden

1. Übersicht zum aktuellen Stand

Systeme zur Messung hoher Prüfspannungen bestehen aus dem Spannungskonverter (meist Spannungsteiler, seltener Wandler, Impedanz oder Feldsonde), einem Übertragungssystem (meist Koaxialkabel, selten Lichtleitstrecken mit Sender und Empfänger) sowie dem Meßgerät mit der Anzeige des Meßwertes. Die Genauigkeitsanforderungen an die Spannungsmessung insgesamt und an die einzelnen Komponenten des Meßsystems werden durch die mehrteilige IEC-Publikation 60 „Hochspannungsprüftechnik" formuliert, die sich gegenwärtig in Überarbeitung befindet [1].
Bislang waren die Anwender von Meßsystemen, vor allem Prüflabors, bei der Einhaltung dieser Forderungen in der Regel auf sich allein gestellt. Zudem wurde weltweit beobachtet, daß zahlreiche Anwender die nötigen Betriebsprüfungen und -kontrollen ihrer Meßsysteme nicht oder unregelmäßig durchführen. Darüber hinaus erfüllen trotz erfolgreicher Betriebsprüfungen und -kontrollen verschiedene Meßsysteme die Genauigkeitsanforderungen nicht. Das zeigten Vergleichsmessungen. Ziel der Überarbeitung der derzeitigen IEC-Publikation 60-3 [2] ist es deshalb, diesen Zustand dadurch zu überwinden, daß wie bei den meisten industriellen Messungen (z.B. mit Meßwandlern) Vergleiche der Betriebsmeßsysteme mit Referenzmeßsystemen eingeführt werden. Detaillierte Hinweise auf die zukünftige Vorgehensweise, auf die sich die Anwender frühzeitig einstellen müssen, enthält das IEC-Dokument 42 (Sekretariat) 56 [3], das von der Arbeitsgruppe 07 des Technischen Komitees (TC) 42 der IEC im März 1989 in Dresden erarbeitet wurde. Insbesondere ist es wichtig, mit der Einführung der neuen IEC-Publikation zur Hochspannungsmeßtechnik und ihrer Übernahme in das nationale Standardwerk [1] die gerätemäßigen Voraussetzungen für Referenzmeßsysteme zu klären. Die nachfolgenden Ausführungen sollen auf die zu erwartende Entwicklung vorbereiten und mögliche Referenzmeßsysteme auf der Basis des TuR-Prüftechnik-Programms vorstellen.

2. Hierarchie und Beglaubigung von Hochspannungs-Meßsystemen

Die Hierarchie der Meßsysteme (Bild 1) geht auf der untersten Stufe von den jeder Hochspannungsprüfanlage zugeordneten Betriebsmeßsystemen (Meßunsicherheit $\leqq 3\,\%$) aus. Sie werden durch einen Vergleich mit einem Referenzmeßsystem (Meßunsicherheit $\leqq 1\,\%$), das in der Regel im gleichen Prüflabor vorhanden sein sollte, bei einer Spannung von mindestens 20 % der höchsten Prüfspannung bestätigt. Die erste solche Funktionsprüfung (performance test [3]) muß besonders umfassend sein und die Festsetzung des Anzeigefaktors (scale factor [3]) enthalten. Sie führt zum Status des bestätigten (approved [3]) Meßsystems. Wiederholungen der Funktionsprüfung sind mindestens jährlich sowie nach allen Veränderungen oder Reparaturen am System durchzuführen; zusätzlich Funktionskontrollen (performance check [3]) durch Vergleich mit einem anderen Betriebsmeßsystem, einem IEC-Standardgerät (Kugelfunkenstrecke nach IEC 52 oder Stabfunkenstrecke nach IEC 60-1) oder auch mit einem Referenzmeßsystem. Deren Häufigkeit hängt von der Stabilität des Meßsystems ab und ist, abhängig von Erfahrungswerten festzulegen. Das Betriebsmeßsystem ist durch einen Funktionsbericht (record of performance [3]), der auch alle Funktionsprüfungen und -kontrollen enthält, jeweils aktuell und überprüfbar zu beschreiben.
Die Referenzmeßsysteme (Meßunsicherheit $\leqq 1\,\%$) sind gegenüber Hauptreferenz-Meßsystemen gemäß nationalen Festlegungen, min-

Dr. sc. techn. *Wolfgang Hauschild* ist Leiter des Anlagenlabors; Dr.-Ing. *Jochen Spiegelberg* ist Chefkonstrukteur im VEB TuR Dresden.

destens aber aller fünf Jahre durch eine Vergleichsmessung zu zertifizieren.
Für Hauptreferenzmeßsysteme (accredited reference measuring system [3]) werden z. Z. keine geringeren Meßunsicherheiten gefordert. Sie haben jedoch einen höheren Status, da sie zu einem von einer nationalen Behörde (in der DDR dem ASMW) „akkreditierten Labor" [in der DDR z. B. eine „Meßtechnische Prüfstelle" (MTP) des ASMW] gehören, dort regelmäßig unter Bezug auf staatliche Etalons oder Spezialnormale [4] [5] kalibriert und in das System der Vergleichsmessung mit anderen akkreditierten Labors einbezogen werden.
Obwohl die Endfassung der zukünftigen IEC-Publikation 60-2 zur Hochspannungsmeßtechnik noch offen ist, muß bereits jetzt die Bereitstellung von Referenzmeßsystemen und in geringerem Umfang von Hauptreferenzmeßsystemen gesichert werden.

3. Referenzmeßsysteme

3.1. Gleichspannung

Das Referenzmeßsystem für 135 kV wird aus Komponenten des TuR-Hochspannungs-Bausteinsystems [6] zusammengesetzt und durch das Scheitelspannungsmeßgerät MU 13 [7] ergänzt. Der Spannungsteiler (Bild 2) besteht aus einem 250-MΩ-Meßwiderstand (Reihenschaltung von diskreten Metallschichtwiderständen 3,32 MΩ, Schutzring), einem Knotenpunktelement, Fußelement, Meßanschluß, Meßkabel und Unterspannungswiderstand (im Gehäuse des Gerätes MU 13 [7] untergebracht). Die Abweichungen des Teilers zum sowjetischen Spezialnormal DWINA lagen während der Zertifizierung bei 100 kV zwischen 0,13 und 0,21 % [8]. Die Meßunsicherheit des Gerätes MU 13 überstieg bei der Zertifizierung durch das ASMW im Aussteuerbereich 1 bis 100 % den Wert 0,2 % nicht. Damit werden die Anforderungen an Referenzmeßsysteme (≦ 1 %) deutlich unterschritten. Eine Erweiterung des Referenzmeßsystems auf 270 kV bzw. 350 kV durch Reihenschaltung von zwei oder drei Meßwiderständen ist möglich.

3.2. Wechselspannung

Referenzsysteme für Wechselspannung bestehen aus Preßgaskondensatoren für 100 kV, 220 kV, 350 kV oder 600 kV[1]), einem hochkonstanten, frequenzunabhängigen Polyprophylen- oder Glimmerkondensator als Unterspannungskapazität, Meßkabel und dem Scheitelwertmeßgerät MU 13. Eine neuentwickelte Typenreihe Preßgaskondensatoren [9] zeichnet sich durch geringen Verlustfaktor, hohe Temperaturkonstanz und geringe Spannungsabhängigkeit aus und erfüllt damit wesentliche Anforderungen an ein Referenzmeßsystem [4] [5].
Die Meßunsicherheit des kompletten Referenzmeßsystems für 600 kV wurde durch das ASMW im Anzeigebereich von 3 bis 100 % zu kleiner 0,5 % zertifiziert. Damit stehen Referenzmeßsysteme über die Forderungen der IEC hinaus für den gesamten Bereich der gegenwärtig mit Hochspannungsprüfanlagen erzeugbaren Wechselspannungen zur Verfügung (Tafel 1).

[1]) Eine Ausführung für 700 kV ist in Vorbereitung.

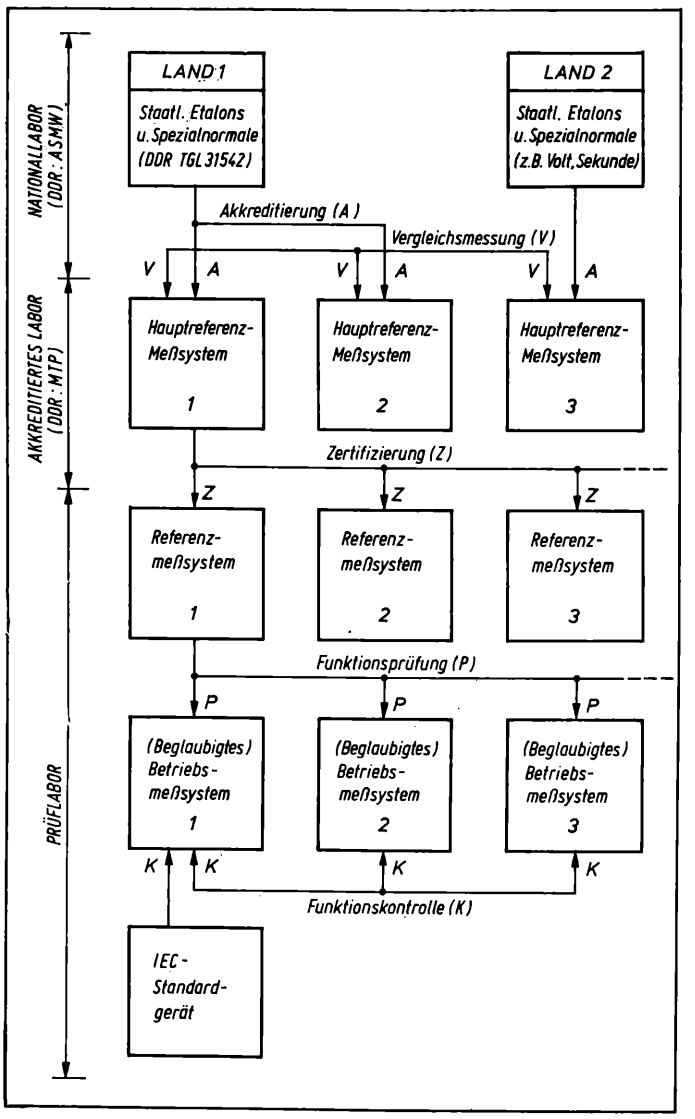


Bild 1. Schema der Beglaubigung von Meßsystemen

3.3. Schaltspannung

Referenzsysteme für Schaltspannung mit Stirnzeiten von 50 µs und darüber lassen sich, wie gemeinsame Untersuchungen des Wissenschaftlichen Allunions-Forschungsinstitutes für Meßwesen (WNIIMS) Moskau von GOST, des Allunions-Forschungsinstitutes der Elektroindustrie WEI Moskau und des VEB TuR [10] beweisen, ebenfalls vorteilhaft mit Preßgaskondensatoren (s. Abschn. 3.2. [9]) als Hochspannungsteil des Spannungsteilers aufbauen. Das

Tafel 1. Realisierungsmöglichkeiten von Referenzmeßsystemen mit TuR-Meßtechnik

	Gleichspannung	Wechselspannung	Schaltspannung	Blitzspannung
Max. Prüfspannung von TuR-Prüfanlagen	± 2000 kV	3000 kV	4000 kV	7000 kV
Max. Prüfspannung nach IEC	± 1600 kV	1385 kV	2100 kV	2550 kV
Erforderliche Nennspannung Referenzmeßsystem (= 0,2 · U_{max})	400 kV (320 kV)	600 kV (277 kV)	800 kV (420 kV)	1400 kV (510 kV)
Erforderliche Meßunsicherheit Spannung	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %
Erforderliche Meßunsicherheit Zeit	–	–	–	< 5 %
Vorhandene Referenzmeßsysteme	ohmsche Teiler MU 13	Preßgaskondensatoren MU 13	Preßgaskondensatoren MU 22	ohmsche Teiler MU 22
Nennspannung	135 kV 270 kV 350 kV	100 kV 220 kV 350 kV 600 (700) kV	100 kV 220 kV 350 kV 600 (700) kV	700 kV 1150 kV 2000 kV
Meßunsicherheit	< 0,2 %	< 0,5 %	(< 0,5 %)	(< 1 %)
Zertifizierung	DWINA 100	Komparator	DWINA 800	(DWINA)

Referenzsystem wird durch einen induktionsarmen Niederspannungskondensator, Meßkabel und ein Scheitelwertmeßgerät MU 22 ergänzt [7]. Die Untersuchungen der meßtechnischen Eigenschaften und die Zertifizierung durch das ASMW sind noch nicht abgeschlossen. Die bisherigen Vergleichsmessungen mit dem Spezialnormal DWINA zeigen jedoch, daß Meßunsicherheiten von etwa 0,2 % für den Spannungsteiler erreichbar sind. Zusammen mit dem geringen Meßfehler eines speziell abgeglichenem Scheitelwertmeßgerätes MU 22 wird damit die Meßunsicherheit eines Referenzsystemes ($\leqq 1\,\%$) ebenfalls unterschritten.

3.4. Blitzspannung

Internationale Vergleichsmessungen der CIGRE zeigen, daß bei der Messung voller und abgeschnittener Blitzspannungen gegenwärtig noch erhebliche Meßfehler in den einzelnen Laboratorien auftreten [11], obwohl die Meßsysteme die Anforderungen der z. Z. gültigen IEC-Publikation 60-3 Hochspannungsmeßtechnik erfüllen. Daraus werden auch die Probleme bei der Neufassung der IEC 60-3 sowie beim zukünftigen Aufbau und der Zertifizierung von Referenzmeßsystemen deutlich.

Als Referenzmeßsysteme haben ohmsche Spannungsteiler u. a. wegen ihrer Konstanz, der einfachen Ermittlung des Übersetzungsverhältnisses, der Unabhängigkeit des Übersetzungsverhältnisses vom Aufstellungsort des Spannungsteiler (Abstand zu geerdeten und spannungsführenden Objekten) und der kleineren Zeitkonstanten Vorteile gegenüber den meist für Betriebsmeßsysteme verwendeten kapazitiven oder gedämpft kapazitiven Spannungsteilern [12]. Umfangreiche Untersuchungen, z. B. [13] [14], sind darauf gerichtet, die Eigenschaften ohmscher Teiler zur Messung des zeitlichen Spannungsverlaufs (d. h. Scheitelwert, Zeitparameter) weiter zu verbessern und eine Hierarchie von Meßsystemen für Blitzspannungen zu schaffen. Dazu gehören internationale Vergleichsmessungen u. a. auch mit TuR-Spannungsteilern der Typenreihe SMR wie auch die Weiterentwicklung des sowjetischen Spezialnormals DWINA zur Verwendung bei Blitzspannungen durch das WNIIMS Moskau.

Die Typenreihe ohmscher Blitzspannungsteiler SMR für Blitzspannungen von 700 kV, 1150 kV und 2000 kV bietet nach den bisherigen Untersuchungen zusammen mit dem Scheitelwertmeßgerät MU 22 alle Voraussetzungen, die Anforderungen an die Meßunsicherheit eines Referenzmeßsystems zu erfüllen. Der meßtechnische Nachweis dieser Meßunsicherheit bedarf weiterer Untersuchungen. Dazu sind u. a. auch Vergleichsmessungen im Rahmen der RGW-Prüffeldorganisation Interelektrotest vorgesehen. Über die erzielten Ergebnisse wird zum gegebenen Zeitpunkt berichtet.

4. Hauptreferenzmeßsysteme und Spezialnormale

Hauptreferenzmeßsysteme können: da nach IEC zur Zeit keine geringeren Meßunsicherheiten gefordert werden, grundsätzlich aus den gleichen Komponenten wie die Referenzmeßsysteme zusammengestellt werden. Aber auch in den Fällen, in denen von der zuständigen nationalen Behörde für die Hauptreferenzmeßsysteme kleinere Meßunsicherheiten festgelegt sind (z. B. $\leqq 0{,}3\,\%$ nach einem Vorschlag von GOST), werden diese Forderungen aufgrund ihrer guten meßtechnischen Parameter durch ausgewählte TuR-Referenzmeßsysteme erfüllt (Tafel 1). Die Festlegung der Art des Spezialnormals, seiner Meßunsicherheit und des Anschlusses an genauere staatliche Etalons obliegt allein der jeweiligen nationalen Behörde. Beispielsweise werden in der DDR gegenwärtig für Wechselspannungs-Spezialnormale bis 250 kV Meßunsicherheiten von 0,1 % gefordert [4]. Derartige Genauigkeitsanforderungen erfüllt z. B. das sowjetische Normal DWINA ohne weiteres [8], das auf Grund seiner universellen Verwendbarkeit (mindestens für Gleich-, Wechsel- und Schaltspannungen), des großen Spannungsbereiches von 100 bis 800 kV und seiner geringen Meßunsicherheiten als das allgemeine Spezialnormal der Hochspannungsmeßtechnik prädestiniert erscheint. Darüber hinaus können aber auch spezielle induktive, ohmsche und kapazitive Spannungsteiler mit entsprechenden hochgenauen Meßeinrichtungen die Anforderungen für einzelne Spannungsarten erfüllen [4].

5. Zusammenfassung

Nach Abschluß der derzeitigen Überarbeitung der IEC-Publikation 60 und deren geplanter Übernahme in das nationale Standardwerk (TGL) müssen Hochspannungsmeßsysteme durch Referenzmessungen bestätigt werden. Neben der Klärung organisatorischer Fragen werden dafür Referenzmeßsysteme (Meßunsicherheit $\leqq 1\,\%$) benötigt. Auf der Basis einer mehrjährigen Zusammenarbeit mit dem sowjetischen Institut WNIIMS Moskau wurde nachgewiesen, daß aus Komponenten des TuR-Prüfanlagensortiments Referenzmeßsysteme für alle Spannungsformen aufgebaut werden können.

Literatur

[1] *Hauschild, W.:* Internationale und nationale Standardisierung zur Hochspannungsprüftechnik am Beispiel der neuen IEC-Publikation 60-1. ELEKTRIE, Berlin 43 (1990) 1, S. 4–6

[2] IEC-Publication 60-3 (1976). High-voltage test techniques. Part 3: Measuring devices (Hochspannungsprüftechnik. Teil 3: Meßgeräte)

Fortsetzung auf Seite 9

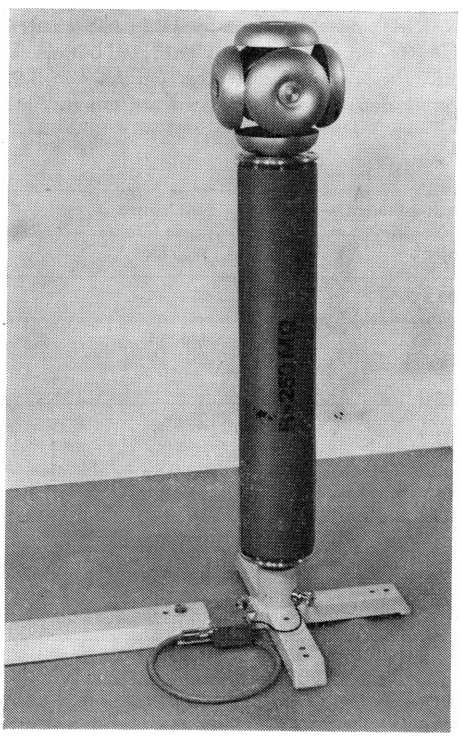


Bild 2
Hochspannungsteil des Gleichspannungs-Referenzmeßsystems für 135 kV

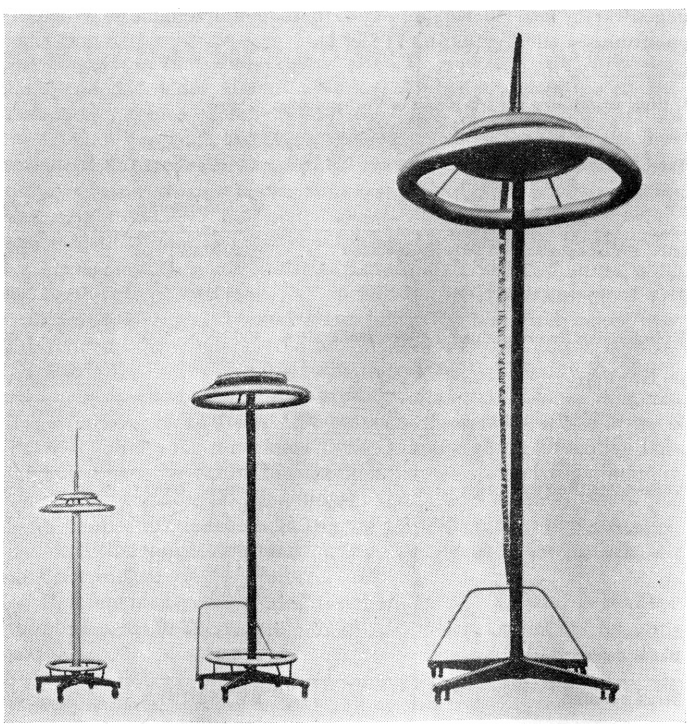


Bild 3
Hochspannungsteile der Typenreihe Blitzspannungs-Referenzmeßsysteme für 700, 1150, 2000 kV

Neues Spezialnormal[1] für hohe Gleichspannungen aus der UdSSR

E. N. Schurawljew; W. N. Jaroslawski, Moskau; S. Maucksch, KDT; J. Spiegelberg, KDT, Dresden

Mitteilung aus dem Wissenschaftlichen-Allunions-Forschungsinstitut für Meßwesen WNIIMS Moskau (UdSSR) und dem VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden (DDR)[2])

In der letzten Zeit gewinnt das Problem der metrologischen Sicherstellung der Spannungsmessung bei hoher Gleichspannung aus der Sicht der Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ), der Anwendung von hohen Gleichspannungen für technologische Prozesse sowie der Hochspannungs-Prüftechnik zunehmend an Bedeutung [3]. Von einem Meßmittel für hohe Gleichspannung (Arbeitsmeßmittel) wird verlangt, daß bei der Entwicklung eine Attestierung durch den Hersteller durchzuführen ist, sofern in Rechtsvorschriften keine anderen Festlegungen getroffen wurden. Die Meßfehler sind innerhalb des vorgesehenen Einsatzbereiches (Spannung, Temperatur, Wandabstände, Zeitdauer der Belastung mit Hochspannung) zu ermitteln. Abhängig vom Status der Meßmittel ist turnusmäßig eine Kalibrierung der Hauptreferenz-Meßsysteme vom zuständigen staatlichen Organ (in der DDR: ASMW), eine Zertifizierung der Referenzmeßsysteme oder eine Bestätigung der Betriebsmeßsysteme vom Anwender durchzuführen [4]. Auf dem Gebiet der Hochspannungs-Prüftechnik (zulässige Fehlergrenze des Betriebsmeßsystemes: $\pm$ 3 % nach IEC 60-3 [5]) muß die Bestätigung durch ein Referenzmeßsystem erfolgen, dessen Fehler im Anwendungsbereich $\pm$ 1 % nicht überschreiten darf [6]. Die Referenzmeßsysteme, die beim Hersteller und bei ausgewählten Anwendern von Betriebsmeßsystemen vorhanden sein sollten, müssen ihrerseits an ein Normal höherer Ordnung, z. B. ein Hauptreferenz-Meßsystem oder an ein Spezialnormal angeschlossen sein [7]. Als sicherste Methode der Übertragung der Skale der Gleichspannung vom Spezialnormal bis auf das Arbeitsmeßmittel wird der unmittelbare Vergleich angesehen.

Von nationalen metrologischen Diensten wurden bisher nach speziellen Technologien gefertigte ohmsche Spannungsteiler als Spezialnormal eingesetzt (Spannung maximal 100 kV, Fehler minimal $\pm$ 0,01 % [8] [9]). Problematisch ist jedoch, daß bei der Nutzung der Teiler Teilentladungs- und Ableitströme nicht vollständig auszuschließen sind. Durch derartige Effekte kann es zur Verschlechterung der metrologischen Charakteristik der Teiler kommen, ohne daß es bemerkt wird. Auf Grund der Nachteile der bekannten Spezialnormale wurden in der UdSSR im Allunions-Forschungsinstitut für Meßwesen (WNIIMS, Moskau) neue, auf dem Differentialprinzip beruhende Spezialnormale des Typs DWINA[3]) entwickelt. Dazu wurden 1980 die DWINA-100, 1981 die DWINA-400 und 1983 die DWINA-800 für die Nennspannungen 100, 400 und 800 kV hergestellt. Der Meßfehler für Gleichspannung beträgt bei 100 kV $\pm$ 0,01 %, bei 400 kV $\pm$ 0,03 % bzw. bei 800 kV $\pm$ 0,05 %.

Im folgenden wird das Wirkungsprinzip des Spezialnormals DWINA erläutert. Anschließend werden die Erfahrungen der Anwendung der DWINA bei der Kalibrierung von Gleichspannungsteilern in einem Hochspannungslabor des VEB TuR Dresden dargelegt.

1. Wirkungsprinzip

Das Spezialnormal DWINA besteht aus zwei Baugruppen (Bild 1). Der Hochspannungsteil (1) enthält eine Schaltung aus m in Reihe geschalteten Silizium-Zenerdioden mit geringem Temperaturkoeffizienten der Zenerspannung. In Reihe zum Hochspannungsteil ist das Niederspannungsteil (2) geschaltet, das einen Stromstabilisator (I = const) darstellt. Zu diesem ist das Meßgerät (3) parallel geschaltet.

Beim Anlegen der zu messenden Spannung U_x, die so hoch sein muß, daß alle m Zenerdioden im Bereich des Lawinendurchbruchs arbeiten, fließt durch die DWINA der Zenerstrom I_z. Dabei ergibt sich über der Reihenschaltung der Zenerdioden ein Spannungsabfall U_z, der von der Strom-Spannungs-Kennlinie der Zenerdioden bestimmt wird (jede dieser Dioden wird durch die Zenerspannung U_{zi} charakterisiert):

$$U_z = \sum_{i=1}^{m} U_{zi}. \tag{1}$$

Zur Ermittlung des Betrags einer unbekannten Spannung müssen die Zenerspannung U_z genügend genau bekannt sein und der Strom I_z konstant gehalten werden (z. B. I_z = 5 mA). Diese Funktion muß das Niederspannungsteil der DWINA erfüllen, das im Idealfall die Charakteristik eines Stromstabilisators mit unendlichem differentiellem Innenwiderstand $\left(r_{di} = \frac{\partial U}{\partial I} \to \infty\right)$ haben soll, d. h., die Strom-Spannungs-Kennlinie der Schaltung stellt eine parallele Linie zur Achse der Spannung dar. Dann fließt bei $U_x = U_z$ der Strom I_z und die Spannung am Meßgerät (3) ist Null. Übersteigt die zu messende Spannung U_x die Zenerspannung U_z, fließt ebenfalls der Strom I_z, jedoch über dem Stromstabilisator fällt eine Spannung von

$$U_s = U_x - U_z \tag{2}$$

ab, die mit dem Meßgerät (3) gemessen wird. Somit kann die zu messende Spannung aus

$$U_x = U_z + U_s = \sum_{i=1}^{m} U_{zi} + U_s \tag{3}$$

bestimmt werden.

Kandidat der techn. Wissenschaften *E. N. Schurawljew* ist Abteilungsleiter; Dipl.-Ing. *W. N. Jaroslawski* ist wiss. Oberassistent im Wissenschaftlichen-Allunions-Forschungsinstitut für Meßwesen WNIIMS Moskau (UdSSR); Dr.-Ing. *S. Maucksch* ist Entwicklungsingenieur; Dr.-Ing. *J. Spiegelberg* ist Chefkonstrukteur für Prüfanlagen im Werk Energietechnik des VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Herrmann Matern" Dresden.

[1]) Das neue Meßmittel, das im Russischen nach dem Prüfschema für hohe Gleichspannung NTM 2-84 [1] als „установка высшей точности" bezeichnet wird, soll im Deutschen in Anlehnung an TGL 31542/50 [2] als Spezialnormal bezeichnet werden. Mit dieser Begriffswahl wird einer späteren Einordnung des Meßmittels in ein Prüfschema des ASMW für hohe Gleichspannung nicht vorgegriffen.

[2]) Die Arbeiten erfolgten auf der Basis des Regierungsabkommens Metrologie zwischen der DDR und der UdSSR. Für die Förderung der Untersuchungen danken die Verfasser dem ASMW/DDR sowie GOST/UdSSR.

[3]) DWINA bedeutet: differentielles Hochspannungsmeßmittel für den Scheitelwert der Spannung.

Fortsetzung von Seite 8

[3] IEC-TC 42: Draft-Revision of Publications 60-3 and 60-4 (IEC-TC 42: Entwurf-Revision der Publikationen 60-3 und 60-4) 42 (Secretariat) 56/April 1989

[4] TGL 31542/20. Staatliche Etalons; Spezialnormal für elektrische Wechselspannungen der Frequenz 50 Hz im Bereich von 1 bis 700 kV. Ausgabe 1980

[5] TGL 31543/20. Staatliche Etalons; Meßmittel für elektrische Wechselspannungen der Frequenz 50 Hz im Bereich von 1 bis 700 kV. Ausgabe 1980

[6] *Hauschild, W.; Thümmler, K.; Wagner, V.; Pfaff, R.:* Bausteine zur Erzeugung und Messung hoher Gleich- und Wechselspannungen. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 10, S. 377–380

[7] *Vetters, G.; Thümmler, K.:* Neue Scheitelspannungsmeßgeräte mit digitaler Direktanzeige. ELEKTRIE, Berlin 43 (1990) 1, S. 25–27

[8] *Schurawljew, E. N.; Jaroslawski, W. N.; Maucksch, S.; Spiegelberg, J.:* Neues Spezialnormals für hohe Gleichspannungen aus der UdSSR. ELEKTRIE, Berlin 43 (1990) 1, S. 9–12

[9] *Maucksch, S.; Sähn, M.; Spiegelberg, J.:* Eine neue Baureihe Preßgaskondensatoren 100 bis 700 kV. ELEKTRIE, Berlin 43 (1990) 1, S. 12–14

[10] *Wladimirow, G. A.; Schurawljew, E. N.; Subkow, I. P.; Kisiljew, W. W.; Mischuck, T. W.; Jaroslawski, W. N.:* Metrologische Attestierung von Teilern für hohe Impuls- und Wechselspannung. Bericht für das Techn. Komitee 2 von Interelektrotest 1988

[11] *Hylten-Cavallius, N.; Chagas, F. A.; Munoz Rojas, P.:* Checking and Adjustments for Minimum Errors of Impulse Dividers and Shunts. 6. ISH New Orleans 1989, Bericht 20.05

[12] *Spiegelberg, J.:* Probleme der Dimensionierung und Eichung von ohmschen Stoßspannungsteilern. Dissertation. TU Dresden 1966

[13] *Bonamy, A.; Deschamps, F.:* High Voltage Comparative Measurements: An Alternative to the U.S.R. Method to Characterize High Voltage Impulse Dividers. 6. ISH New Orleans 1989, Bericht 20.02

[14] *Kind, D.; Schon, K.; Schulte, R.:* The Calibration of Standard Impulse Dividers. 6. ISH New Orleans 1989, Bericht 41.10

EA 6085

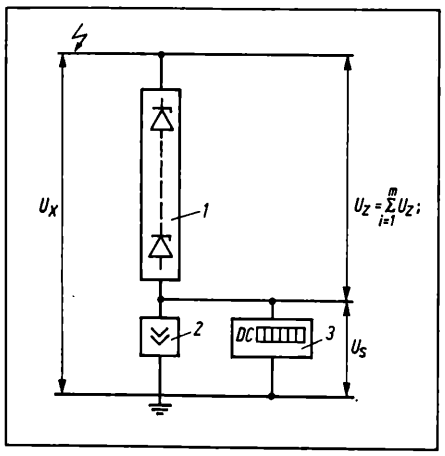


Bild 1
Prinzipschaltbild des Spezialnormals DWINA
1 Hochspannungsteil;
2 Niederspannungsteil – Stromstabilisator;
3 Meßgerät

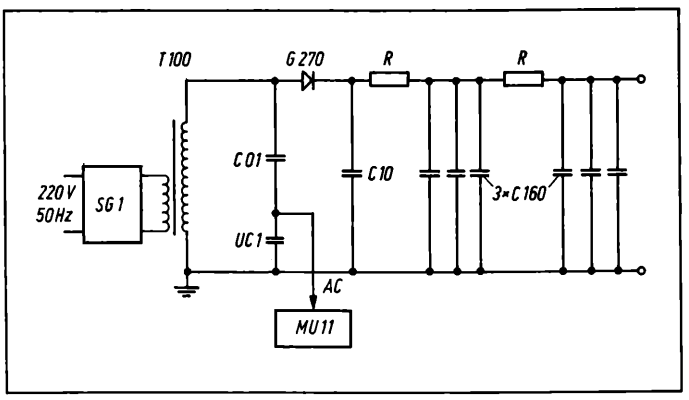


Bild 3. Gleichspannungs-Prüfanlage für Untersuchungen mit dem Spezialnormal DWINA auf der Basis des TuR-Hochspannungs-Bausteinsystems GBS 14/135
SG 1 Steuergerät; T 100 100-kV-Transformator; C 01 Kondensator Cn = 0,1 nF, Un = 100 kV; UC 1 Unterspannungskondensator: MU 11 AC/DC-Scheitelwertmeßgerät; G 270 Gleichrichter, 270 kV Sperrspannung; C 10 Glättungskondensator Cn = 10 nF, Un = 135 kV; C 160 Glättungskondensator Cn = 160 nF, Un = 125 kV; R Widerstand 640 kΩ

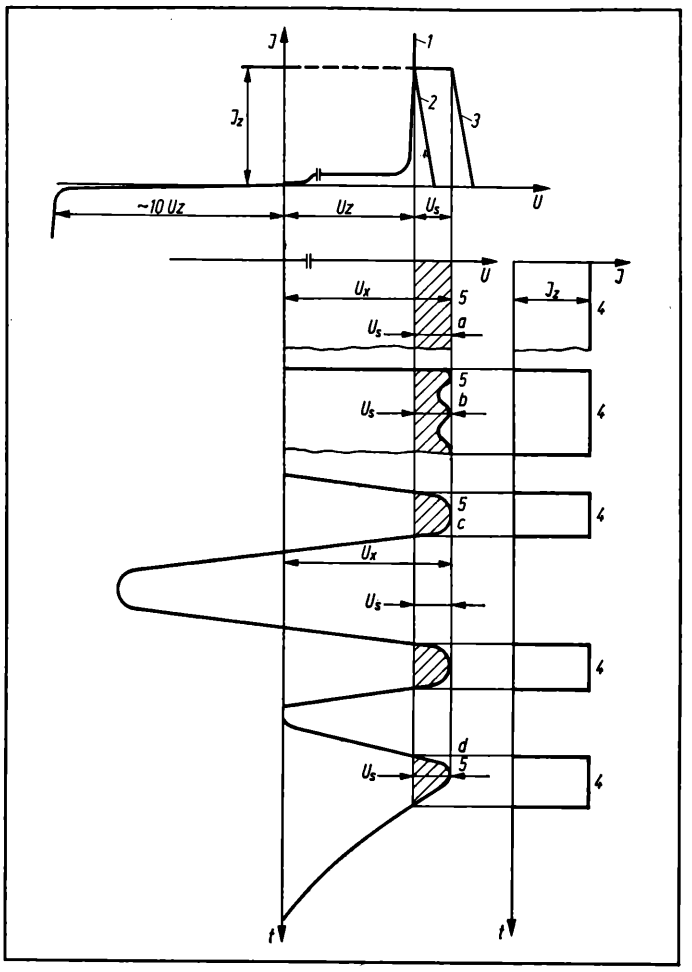


Bild 2. Strom-Spannungs-Kennlinien der DWINA und Wirkungsweise bei unterschiedlichen Spannungsarten
1 U-I-Kennlinien des Hochspannungsteiles; 2 U-I-Kennlinie des Niederspannungsteils für $U_X = U_Z$; 3 U-I-Kennlinie des Niederspannungsteiles für $U_X > U_Z$; 4 durch die Einrichtung fließender Strom I_Z; 5 Spannungen am Eingang der Einrichtung bei Gleichspannung (a), pulsierende Gleich- (b), Wechsel- (c) und Impulsspannung (d)
(Maßstab des Bildes: U_X in der Größenordnung 100 kV, U_S in der Größenordnung von 10 bis 1000 V)

Unter Berücksichtigung der realen Strom-Spannungs-Kennlinien erhält man für die Spannungsmessung:

$$U_X = U_Z + U_S(1 + \alpha) \tag{4}$$

$$\text{mit} \quad \alpha = \frac{r_Z(r_{di} + R_E)}{R_E \cdot r_{di}}. \tag{5}$$

r_Z differentieller Zenerwiderstand (z. B. 2,5 kΩ/kV),
r_{di} differentieller Innenwiderstand des Stromstabilisators,
R_E Eingangswiderstand des Meßgerätes (3).

Da der Koeffizient α für die DWINA im Bereich $3 \cdot 10^{-2}$ liegt, kann der letzte Term von (4) in der Mehrzahl der Fälle vernachlässigt werden.
Das Wirkungsprinzip der DWINA bei verschiedenen Spannungsarten verdeutlicht Bild 2. Bei gut geglätteter Gleichspannung $U_X > U_Z$ wird am Stromstabilisator die Spannung U_S gemessen (Kurve a). Bei Vorhandensein einer Pulsation der Hochspannung wird U_S unbeeinflußt in Größe und Form dieser Pulsation folgen (Kurve b). Bei Wechselspannung wird am Stromstabilisator eine impulsförmige Spannung gemessen, die in ihrer Form dem oberen Teil der sinusförmigen Hochspannung entspricht (Kurve c). Dasselbe gilt auch für Impulsspannung (Kurve d).
Beim Auftreten von Teilentladungs- und Ableitströmen sind die Fehler der DWINA im Vergleich zu ohmschen Spannungsteilern 100 bis 1000mal kleiner. Die Fehler sind umso geringer, je kleiner der differentielle Zenerwiderstand des Hochspannungsteils der DWINA im Verhältnis zum Widerstand des Hochspannungsteils eines ohmschen Spannungsteilers ist.
Die Einzelwerte U_{Zi} der Zenerdioden werden mit hoher Genauigkeit durch direkte Messungen von einzelnen Elementen des Hochspannungsteils ermittelt, wobei letztlich vom Etalon des Volts ausgegangen wird. Es ist prinzipiell nicht schwierig, die Messung von U_{Zi} mit einem Fehler von etwa 0,001 % durchzuführen.
Ausführliche Angaben über die prinzipielle Wirkungsweise der DWINA, über ihre Kalibrierung und über den konstruktiven Aufbau sind in [10] enthalten.

2. Anwendung der DWINA-100

2.1. Prüfspannungserzeugung

Aus dem Wirkungsprinzip der DWINA und der maximalen Ausgangsspannung des Stromstabilisators (wahlweise 100 oder 1000 V) ergibt sich die Forderung an die Prüfspannungsquelle, daß die Pulsation der Spannung 100 V bzw. 1000 V nicht überschreiten darf. Diese Bedingung muß bei einem von der Prüfanlage zu liefernden Laststrom

$$I_L = I_Z + I_{Teiler} \tag{6}$$

erfüllt werden (I_Z = 5 mA). Außerdem muß die Prüfspannung sehr feinstufig ($\Delta U <$ 100 bzw. 1000 V) einstellbar sein, weil bei der Vergleichsmessung die Prüfspannung nur geringfügig größer als die Zenerspannung U_Z des Hochspannungsteils einzustellen ist.
Diese Forderungen konnten mit einer Anlage TuR-GBS 14/135 aus dem TuR-Hochspannungs-Bausteinsystem [11], die durch ein Hochspannungsfilter in π-Schaltung ergänzt wurde (Bild 3) erfüllt werden (Pulsation < 0,003 %).

2.2. Meßschaltungen

Die Kalibrierung/Zertifizierung von Haupt-/Referenzmeßsystemen erfolgt bei Anwendung des Spezialnormals DWINA nach der Methode des unmittelbaren Vergleichs. Daher wurden DWINA und das zu untersuchende Meßmittel parallel geschaltet. Zur Erprobung

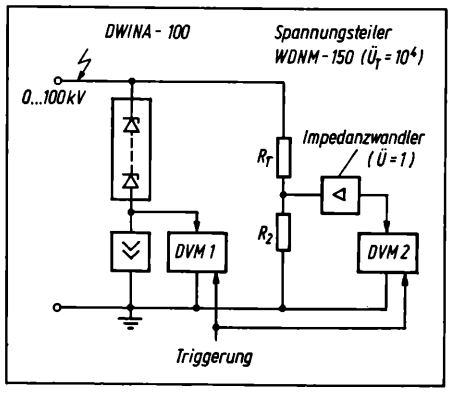


Bild 4. Meßkreis zur Kalibrierung des Spannungsteilers WDNM — 150
DVM 1 Digitalvoltmeter Typ 1209.10, Meßbereich 1000 V; DVM 2 Digitalvoltmeter Typ 1206.10, Meßbereich 20 V

Bild 5. Meßkreis zur Kalibrierung des TuR-Spannungsteilers RT-1 DVM 1 Digitalvoltmeter Typ G 1209.10, Meßbereich 1000 V; DVM 2 Digitalvoltmeter Typ G 1206.10, Meßbereich 200 V

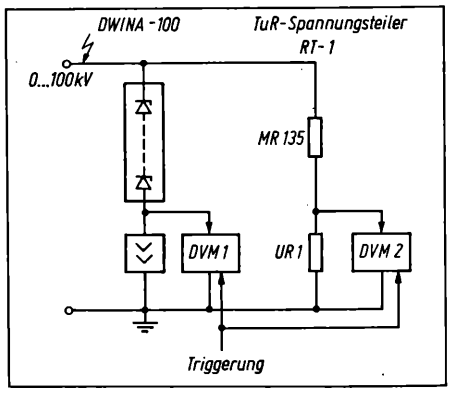


Bild 6. Relativer Fehler der Spannungsteiler WDNM-150 und RT-1

▼

der Anwendung der DWINA unter industriemäßigen Bedingungen wurden für einen Referenzspannungsteiler WDNM-150 (ohmscher Spannungsteiler mit Widerständen aus Mikrodraht, $U_N = 150$ kV, $\ddot{u}_N = 10000$, Fehler nach Herstellerangaben $\leqq \pm 0{,}05\,\%$, Hersteller: Elektrotechnisches Institut Kischinjew, UdSSR) und für den zum TuR-Hochspannungs-Bausteinsystem gehörenden Spannungsteiler RT-1 (bestehend aus MR 135 und UR 1, $U_N = 135$ kV, Grenze des zulässigen Fehlers $\pm 1\,\%$) Meßschaltungen entsprechend der Bilder 4 und 5 aufgebaut. Zur Vermeidung einer Verfälschung des Teilerverhältnisses des WDNM-150 durch den Eingangswiderstand des Digitalvoltmeters wurde ein Impedanzwandler zwischen Teilerausgang und Digitalvoltmeter angeordnet (Bild 4). Um den Einfluß der Pulsation und von Spannungsschwankungen zu verringern, wurden die Ausgangsspannungen der DWINA und des Teilers durch gleichzeitige Triggerung der beiden Digitalvoltmeter synchron gemessen.

2.3. Durchführung und Auswertung der Messungen

Die Kalibrierung erfolgt an diskreten Punkten der Spannungsskala bis 100 kV. Zunächst wird am Hochspannungsteil die gewünschte Zenerspannung U_z ausgewählt, in dem die bei $U_z < 100$ kV nicht benötigten Zenerdioden überbrückt werden. Danach wird die Hochspannung U_x so eingestellt, daß diese die Zenerspannung U_z geringfügig überschreitet. Anschließend wird die Ausgangsspannung der DWINA und des Teilers gemessen (Digitalvoltmeter in der Betriebsart „1 x" betrieben). Meßvorgang durch Triggerung ausgelöst). Je eingestellter Zenerspannung werden jeweils 10 Messungen durchgeführt. Für diese 10 Messungen wird der Mittelwert $\overline{\Delta\ddot{u}}$ und die mittlere quadratische Abweichung $\sigma(\Delta\ddot{u})$ des relativen systematischen Teilerfehlers berechnet. Der nichterfaßte systematische Fehler Θ der Kalibrierung wird wie folgt bestimmt:

$$\Theta = 1{,}1\sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}. \tag{5}$$

Δ_1 zulässige Fehlergrenze der DWINA-100 ($\Delta_1 = 0{,}01\,\%$),
Δ_2 zulässige Fehlergrenze des Digitalvoltmeters.

Die obere Grenze ΔU_0 und die untere Grenze $\Delta\ddot{U}_u$ des relativen Teilerfehlers kann entsprechend R_D 50-363-82 [12] mit

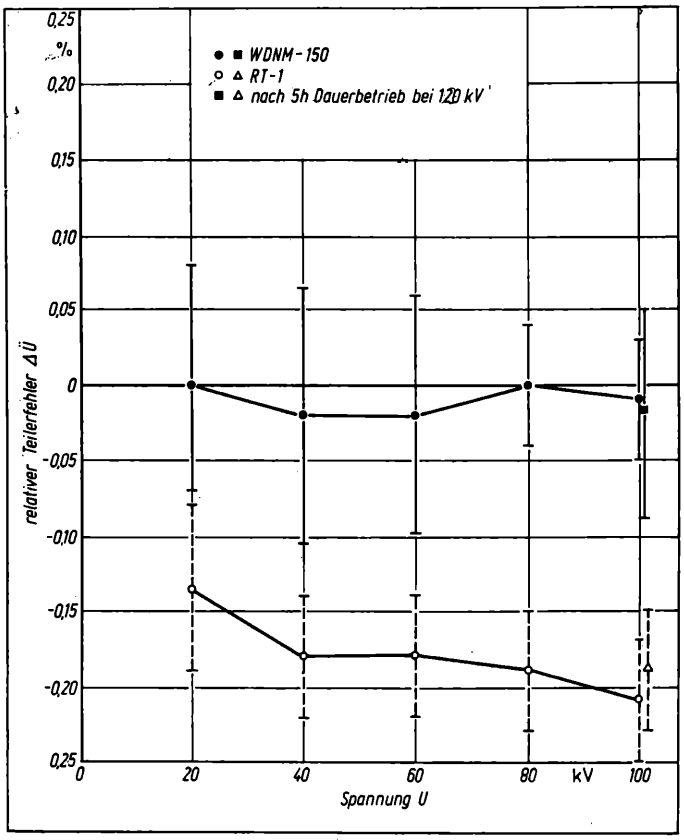
$$\Delta\ddot{U}_0 = \overline{\Delta\ddot{U}} + \Theta + K\sigma(\Delta\ddot{U}), \tag{6}$$

$$\Delta\ddot{U}_u = \overline{\Delta\ddot{U}} - \Theta - K\sigma(\Delta\ddot{U}) \tag{7}$$

berechnet werden, wobei für die statistische Sicherheit $P = 0{,}95$ mit $K = 2$ gerechnet wird ($2\,\sigma$-Grenze bei Annahme eines normalverteilten Fehlers).

2.4. Ergebnisse der Messungen

Die ermittelten Teilerfehler (Bild 6) zeigen, daß der Mittelwert des relativen Fehlers des WDNM-150 kleiner als $-0{,}025\,\%$ ist. Unter Berücksichtigung der Vertrauensbereiche liegt der wahre Wert des Fehlers zwischen $-0{,}1$ und $+0{,}08\,\%$. Der Mittelwert des bei 100 kV ermittelten Fehlers stieg nach 5 h Dauerbetrieb des Teilers bei 120 kV von $-0{,}01\,\%$ auf $-0{,}02\,\%$ an, und der Vertrauensbereich wurde größer, weil die Streuung des Fehlers nach der Erwärmung des Teilers ebenfalls anstieg.
Beim Teiler RT-1 ergab sich im Vergleich zum WDNM-150 ein größerer mittlerer Fehler, der zwischen $-0{,}13$ und $-0{,}21\,\%$ lag (Bild 6). Bemerkenswert ist, daß die Streuung des Fehlers kleiner



als beim WDNM-150 war. Die Erwärmung des Teilers durch 5 h Dauerbetrieb bei 120 kV führte bei 100 kV zu einer Verringerung des Fehlers von $-0{,}21$ auf $-0{,}19\,\%$.

3. Schlußfolgerungen

1. Das neue Spezialnormal DWINA ist für die Kalibrierung von Hauptreferenz-Meßsystemen der Hochspannungs-Prüftechnik geeignet.
2. Das Spezialnormal DWINA kann ohne Schwierigkeiten, z. B. auch ohne eine Schirmung des Prüfraumes, in Hochspannungslaboratorien angewendet werden. Die Prüfspannungsquelle muß jedoch an die Anforderungen der DWINA angepaßt sein.
3. Der Teiler WDNM-150 ist als Hauptreferenzmeßsystem geeignet, wobei dessen Fehler mit Sicherheit ($P = 95\,\%$) in den Grenzen $\pm 0{,}1\,\%$ liegt.
4. Der TuR-Teiler RT-1 mit angeschlossenem TuR-AC/DC-Scheitelwertmeßgerät MU 13 ist als Referenzmeßsystem [7] ebenfalls geeignet.
5. Das neue Meßprinzip der DWINA eröffnet weitere Möglichkeiten für die Kalibrierung von Referenzmeßsystemen für andere Spannungsarten und für den Aufbau von Prüfschemata in der DDR für hohe Gleich- und Impulsspannungen.

Fortsetzung auf Seite 12

Neue Baureihe Preßgaskondensatoren 100 bis 700 kV

S. Maucksch, KDT; M. Sähn; J. Spiegelberg, KDT, Dresden

Mitteilung aus dem VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden

Preßgaskondensatoren gehören seit mehr als 30 Jahren zum Lieferprogramm der TuR-Hochspannungs-Prüftechnik. Insbesondere werden sie in TuR-Wechselspannungs-Prüfanlagen zusammen mit einem Unterspannungsteil und einem Scheitelwertmeßgerät zur präzisen Messung der Prüfspannung und weiterhin als Kapazitätsnormal für dielektrische Messungen verwendet. Die Kondensatoren der bisherigen Baureihe (Typen: MCF 135/200 P, MCF 75/350 P, MCF 60/600 P, MCF 30/900 P) waren gekennzeichnet durch eine Druckgasisolierung mit Kohlendioxid unter einem Betriebsdruck von 1,2 bis 1,4 MPa sowie durch ein Hartpapierdruckrohr als Wandung des Druckgefäßes. Neue Werkstoffe, vor allem Schwefelhexafluorid als Isoliergas und Isolierrohre aus glasfaserverstärktem ungesättigtem Polyesterharz ermöglichen es, den Betriebsdruck um mehr als den Faktor 3 zu reduzieren und damit den Aufwand für das Druckgefäß zu verringern. Im Ergebnis der Grundlagenforschung zur Dimensionierung von Druckgasisolierungen mit SF_6 an der Technischen Universität Dresden [1] [2] sowie unter Nutzung der TuR-Erfahrungen mit Prototypen SF_6-isolierter Preßgaskondensatoren entstand eine neue Baureihe Preßgaskondensatoren, die im folgenden näher beschrieben wird.

1. Typenübersicht

Die neue Baureihe umfaßt vier Typen (Bilder 1, 2, Tafel 1), die hinsichtlich der Nennspannung auf das Sortiment der TuR-Wechselspannungs-Prüfanlagen abgestimmt sind. Der 100-kV-Kondensator ist vor allem für den Einsatz im Hochspannungs-Bausteinsystem [3] (z.B. in der Anlage WBS 4,4/100) vorgesehen. Die 220 kV, 350 kV und 700 kV Kondensatoren MCP 220, MCP 350 und

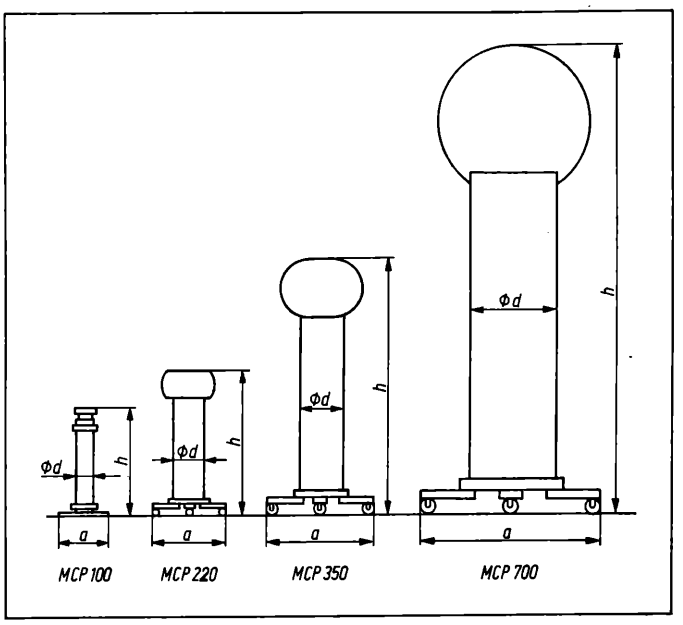
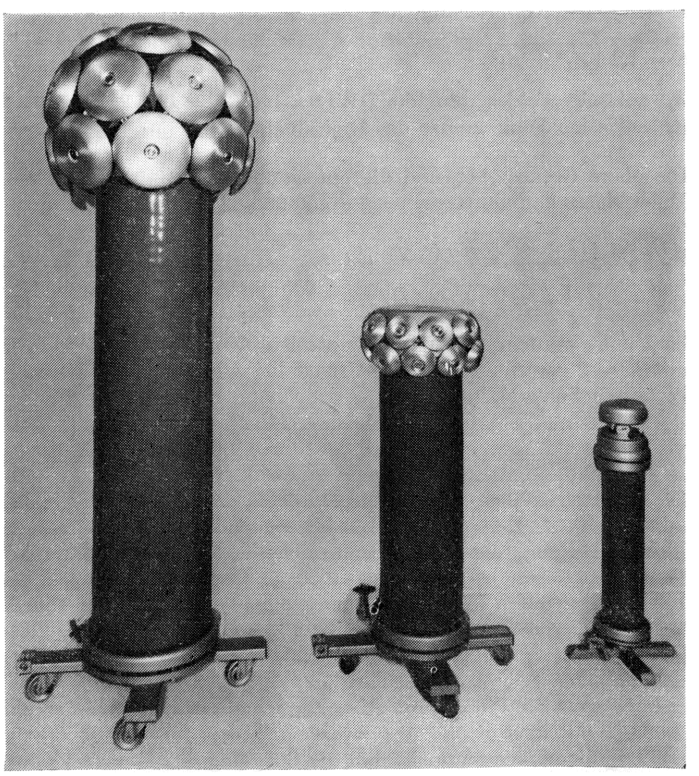


Bild 1. Neue Baureihe Preßgaskondensatoren (Maßbild)

Tafel 1. Technische Daten der neuen Baureihe Preßgaskondensatoren

Typ	MCP 100	MCP 220	MCP 350	MCP 700
Nennspannung in kV	100	220	350	700
Prüfspannung in kV	110	242	385	770
Hauptkapazität in pF	100	100	100	50
Zusatzkapazität in pF	—	15	15	15
Verlustfaktor		$\tan \delta \leqq 1 \cdot 10^{-5}$		
Isoliergas			SF_6	
Betriebsdruck in MPa			0,4	
Ausführung	stationär	fahrbar		
Maße: h in mm	965	1350	2380	4450
Dmr. d in mm	160	320	420	840
a in mm	436	725	970	1600
Aufstellung		Innenraum, temperiert		
Umgebungsluft-temperatur für Betrieb		+ 5 °C bis + 40 °C Betauung nicht zulässig		
Relative Luftfeuchte		maximal 75 % bei 30 °C		

Bild 2. 100-kV-, 220-kV- und 350-kV-Preßgaskondensator



Dr.-Ing. *Stefan Maucksch* ist Entwicklungsingenieur im Anlagenlabor; Dipl.-Ing. *Michael Sähn* ist Konstrukteur; Dr.-Ing. *Jochen Spiegelberg* ist Chefkonstrukteur für Prüfanlagen im Werk Energietechnik des VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Herrmann Matern" Dresden.

Die Autoren danken den Wissenschaftsbereichen Hochspannungstechnik und Grundlagen des Maschinenwesens der TU Dresden sowie dem VEB Plastverarbeitungswerk Staaken für die aktive Unterstützung der Entwicklungsarbeiten.
Untersuchungen zur metrologischen Charakteristik der Preßgaskondensatoren erfolgten mit Unterstützung des ASMW FG 4330 sowie GOST Institut WNIIMS/UdSSR.

Fortsetzung von Seite 11

Literatur

[1] NTM-RGW 2-84. Vereinheitlichtes Prüfschema der RGW-Länder für Gleichspannungs-Meßmittel von 2 bis 800 kV
[2] TGL 31542/20. Staatliche Etalons; Spezialnormal für elektrische Wechselspannungen der Frequenz 50 Hz im Bereich 1 bis 700 kV
[3] *Besrukich, P. P.; Schurawljew, E. N.; Nemzew, G. G.; Tschernojarski, A. A.:* Perspektiven der Entwicklung der metrologischen Forschung zur Erhöhung der Effektivität der Energieanwendung. Meßtechnik, Moskau (1982) 6
[4] Erste Durchführungsbestimmung zur Verordnung über das Meßwesen vom 12. Juli 1988. Gesetzblatt Teil I Nr.15 vom 27. Juli 1988
[5] IEC-Publication 60-3 (1976). High-voltage test techniques
[6] Revision of IEC-Publication 60-3 and 60-4. Draft-High-voltage test techniques
[7] *Hauschild, W.; Spiegelberg, J.:* Voraussetzungen zur Bestätigung von Hochspannungs-Meßsystemen. ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, S. 6–9
[8] *Marx, R.; Schon, K.:* Internationale Vergleichsmessungen an einem Gleichspannungsteiler bis 100 kV. PTB-Mitt. 96 (1986), S.165–168
[9] *Misakian, M.:* High Voltage Divider and Resistor Calibrations. NBS Technical Note 1215 (1985)
[10] *Schurawljew, E. N.:* Referenzmeßmittel basierend auf dem Differenzprinzip. Meßtechnik, Moskau (1982) 6
[11] *Hauschild, W.; Thümmler, K.; Wagner, V.; Pfaff, R.:* Bausteine zur Erzeugung und Messung hoher Gleich- und Wechselspannungen. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 10, S.377–380
[12] GOST-Dokument RD-50-363-82. Methoden und Mittel zur Überprüfung von Gleichspannungsteilern.

EA 6086

MCP 700[1]) sind paßfähig zu entsprechenden Wechselspannungs-Prüfanlagen mit Isoliermanteltransformatoren für 220 und 350 kV. Alle Kondensatoren sind mit handelsüblichem SF_6 (Qualität entsprechend IEC 376 [4]) unter einem Betriebsdruck $p_{betr} = 0{,}4$ MPa (Überdruck) gefüllt. Die gesamte Baureihe ist für Innenraumaufstellung (Betriebstemperaturbereich + 5 °C bis + 40 °C, maximale Luftfeuchte 75 % bei 30 °C) geeignet. Zur Komplettierung der Preßgaskondensatoren zu TuR-Wechselspannungs-Meßsystemen können Meßkabel, Unterspannungsteile sowie AC/DC Scheitelwertmeßgeräte MU 11 ($3^1/_2$stellige digitale Anzeige) geliefert werden.

2. Aufbau und Gestaltungsprinzipien

2.1. Druckgefäße

Preßgaskondensatoren sind mit zylindrischen Druckgefäßen aus einem mechanisch festen, alterungs- und kriechstrombeständigen Isolierstoff, bei dem ein Bersten infolge von Wanddurchschlägen ausgeschlossen ist, aufgebaut. Dazu werden vom VEB Plastverarbeitung Staaken entwickelte Druckrohre aus glasfaserverstärktem Polyesterharz (GUP) [5] verwendet. Die GUP-Druckrohre haben eine 6fache Sicherheit gegenüber Bersten. Der Aufbau der GUP-Rohre (Bild 3), insbesondere die Innenauskleidung gewährleistet die Gasdichtheit. Die elektrotechnische Eignung ist gegeben, weil sogenanntes E-Glas (alkaliarme Glasfaserlitze oder Glasfasermatten) als Verstärkungsmaterial verwendet wird und die Herstellung des Rohres bereits aus Gründen der mechanischen Festigkeit lunkerfrei erfolgen muß.

Die GUP-Rohre werden im VEB TuR mit Armaturen (Bild 4), bestehend aus einem inneren Druckring und einem Flansch, der mit einem geteilten Keilring auf dem GUP-Rohr festgeklemmt wird, versehen. Diese Konstruktion sichert einen kraftschlüssigen Flanschsitz. Ein Abrutschen des Flansches bei Belastung des Gefäßes durch den Innendruck ist ausgeschlossen, weil die Kraft, mit der der Keilring auf das Rohr aufgepreßt wird, mit wachsendem Druck steigt. Die genannte Kraft wird bereits durch Verspannung des Flansches gegen den Keil vor der Montage von Boden und Deckel aufgebracht. Die Dichtung des Gefäßes erfolgt zwischen der Stirnfläche des Rohres und dem Gefäßboden bzw. -deckel. Entsprechend den Bauvorschriften für Druckgefäße [6] wurde Stahl St 38 hb-2 bzw. St 38 b-2 als Material für die Armaturen sowie für Boden/Deckel gewählt. Mit umfangreichen mechanischen Untersuchungen an Druckgefäßmustern wurde die Eignung der Konstruktion nachgewiesen. Auf der Basis der Festigkeitsberechnung nach TGL 32903 [7] [8] und der Prüfergebnisse liegt eine Zustimmung des Staatlichen Amtes für technische Überwachung zur Herstellung der Gefäße vor. Eine Stoßfolgeprüfung (Prüfklasse Eb 6-150-12000/1 nach TGL 200-0057 [9]) des Mustergefäßes unter Druck wurde erfolgreich bestanden. Die Qualität der Gefäße wird durch Typ- und Stückprüfungen (Prüfdruck 0,8 bzw. 0,6 MPa) sowie durch Materialatteste gesichert. Durch ein Anstrichsystem, das auch unter elektrotechnischen Gesichtspunkten [10] ausgesucht wurde, wird sowohl eine gute Ansichtsgüte als auch der Schutz des GUP-Materials vor direkter Sonneneinstrahlung erreicht.

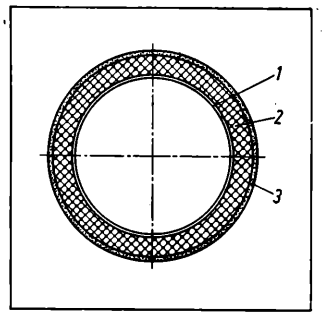
2.2. Elektroden

Die innere Elektrodenanordnung entspricht in ihrem Aufbau der bewährten koaxialen Bauweise (Bild 5).

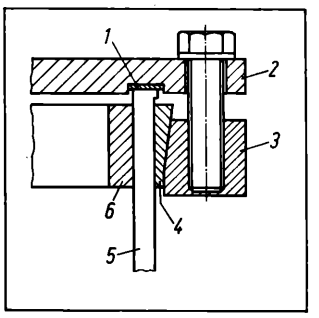
Mit Ausnahme des 100-kV-Kondensators enthalten die Kondensatoren eine Haupt- und eine Hilfskapazität (Tafel 1), mit der gleichzeitig Spannungs- und dielektrische Messungen durchführbar sind. Der zwischen beiden Kapazitäten angeordnete Schirm verhindert eine gegenseitige Feldbeeinflussung. Für Spezialmessungen mit herkömmlichen Schering-Hochspannungsmeßbrücken kann der Schirm auch durch Öffnen einer Verbindung (V) im Anschlußkasten von Erde getrennt werden (Bild 5).

Die Dimensionierung der Anordnung erfolgte mit einem Verfahren zur Berechnung der Verteilungsfunktion der Durchschlagspannung [2]. Als Randbedingungen war zu beachten, daß bei der Prüfspannung der Kondensatoren ($1{,}1 \times U_N$) kein innerer Durchschlag und kein äußerer Überschlag auftreten darf. Eine besonders kritische Feldstärkeerhöhung an den Kanten der Meßelektrode wird durch sorgfältige Abrundung vermieden. Die Herstellung der Meßelektroden der Typen MCP 100 — MCP 350 aus gezogenem Aluminiumrohr sichert über die Arbeitsschritte Drehen, Schleifen und Polieren, daß die mittlere Rauhtiefe 10 µm nicht überschritten wird. Indem der Betriebsdruck $p_{betr} = 0{,}4$ MPa stets über dem nach der Berechnung erforderlichen Mindestdruck liegt, wird der

[1]) Der MCP 700 ist z. Z. in Vorbereitung. Parallel dazu ist der 600-kV-Preßgaskondensator MCF 60/600 P der bisherigen Bauart noch lieferbar.



3



4

Bild 3. Aufbau der GUP-Rohre für Preßgaskondensatoren
1 Chemieschutzschicht (Innenauskleidung mit Spezialharz); 2 tragender Laminataufbau (Harz verstärkt mit Glasfaserroving und -matten); 3 äußere Harzdeckschicht

Bild 4. Aufbauprinzip der Armaturen des Druckgefäßes
1 Dichtung; 2 Deckel; 3 Flansch; 4 Keil; 5 GUP-Rohr; 6 Druckring

Einfluß von Fertigungstoleranzen, Exzentrizitäten und der Umgebungstemperatur auf die Durchschlagspannung ausgeglichen. Von einem Abgleich der Hauptkapazität auf den Nennwert wurde abgesehen, weil für die modernen Scheitelspannungsmeßgeräte MU 11, MU 13 das jeweilige Teiler-Übersetzungsverhältnis direkt einstellbar sowie für $C/\tan\delta$-Meßbrücken kein runder Kapazitätswert notwendig ist. Der Istwert der Kapazität wird bei der Werksendprüfung mit einer Meßunsicherheit von $\leqq \pm 0{,}2$ % gemessen. Die äußeren Abschirmelektroden wurden mit Hilfe eines Verfahrens zur Berechnung der Einsetzspannung [11] so dimensioniert, daß bei Nennspannung keine Streamerzündungen auftreten. An den Kondensatoren MCP 220, MCP 350, MCP 700 wird der obere Flansch jeweils durch eine Teller-Segment-Elektrode abgeschirmt. Dagegen wurde beim 100-kV-Preßgaskondensator eine Elektrodenlösung von Transformatoren des Hochspannungs-Bausteinsystems [3] übernommen, die es ermöglicht, das Drosselventil und das Manometer (sichtbar) am Deckel des Gefäßes anzubringen. Auf eine gesonderte Abschirmelektrode für den unteren Flansch der Kondensatoren konnte durch eine geeignete konstruktive Ausbildung (Abrundung) verzichtet werden.

3. Prüfergebnisse

Im Rahmen ausführlicher Entwicklungs- und Typprüfungen der Typen MCP 100, MCP 220, MCP 350 konnten deren Betriebsparameter und meßtechnische Eigenschaften nachgewiesen werden. Insbesondere wird im Vergleich zur bisherigen Baureihe ein geringerer Verlustfaktor $\tan\delta \leqq 1 \times 10^{-5}$ erreicht.

Eingehende Untersuchungen, so zum Teilentladungs (TE)-Verhalten und zur metrologischen Charakteristik der Kapazität (Einfluß von Druck, Temperatur und Spannung), erfolgten am MCP 100. TE-Messungen ergaben bei einem Grundstörpegel von 2 pC, daß bei atmosphärischen Normalbedingungen bis zur Nennspannung keine TE auftraten. Unter ungünstigen klimatischen Bedingungen, besonders bei hoher Luftfeuchte, ist der Kondensator oberhalb 60 bis 70 % der Nennspannung nicht mehr generell TE-frei. Es handelt sich hier um TE außen auf der Oberfläche des Druckrohres, die durch die Ausbildung eines molekularen Wasserbelages bei hoher Luftfeuchte gezündet werden. Die Nennspannung des Kondensators wurde bei $\vartheta = 30$ °C, $\varphi_{rel} = 98$ % sowie $\vartheta = 40$ °C, $\varphi_{rel} = 80$ % trotz Vorhandenseins der TE über 1 h gehalten. Eine Erosion der Lackoberfläche [10] des Druckrohres durch TE konnte dabei nicht festgestellt werden. Weitaus gefährlicher wäre eine Betauung der Rohroberfläche, weil sich dabei durch sehr intensive TE rasch Kriechspuren bilden und damit der Überschlag nach relativ kurzer Zeit möglich ist [10]. Daraus folgt, daß die Betauung grundsätzlich auszuschließen ist, während bei unspezifiziert hoher Luftfeuchte ein Kurzzeitbetrieb nach Ermessen und unter Verantwortung des Nutzers erfolgen kann.

Die Untersuchungen zum Einfluß von Druck, Temperatur und Spannung auf die Kapazität ergaben folgende, äußerst geringe Abhängigkeiten für den MCP 100:

$$\Delta C/C = f(p) = 2{,}15 \cdot 10^{-5}/\text{kPa},$$

$$\Delta C/C = f(\vartheta) = 1{,}6 \cdot 10^{-5}/°\text{C},$$

$$\Delta C/C = f(U) \leqq 1{,}5 \cdot 10^{-4} \text{ bei } U \leqq U_n.$$

Im Vergleich zu einem herkömmlichen Meßkondensator mit Öl-Papier-Isolation, für den z. B. $\Delta C/C = f(\vartheta) = 52 \cdot 10^{-5}/°\text{C}$ ermittelt wurde, ist die Kapazität des Preßgaskondensators wesentlich stabiler und auch unabhängig vom Abstand zu umgebenden Gegenständen auf Erd- oder Hochspannungspotential.

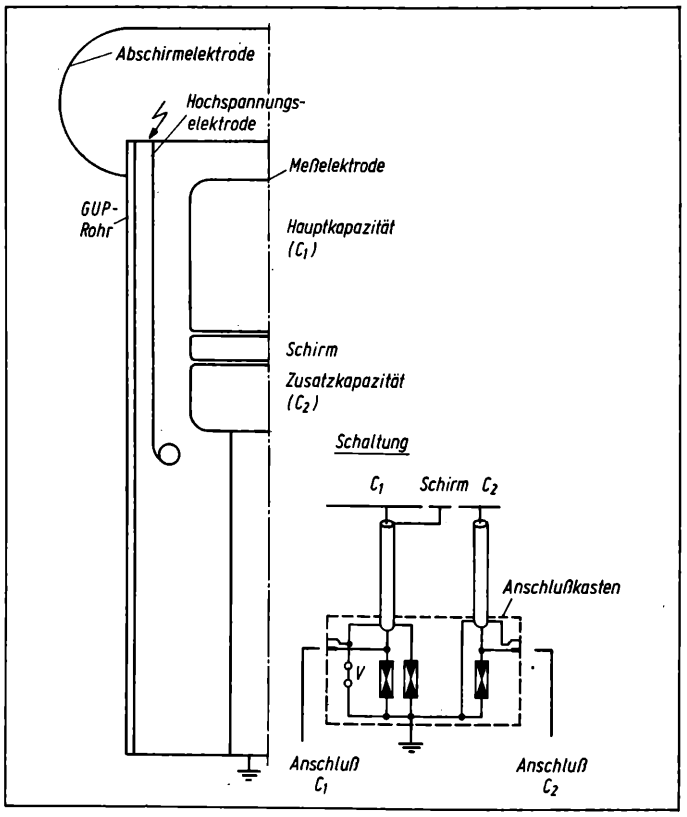


Bild 5. Aufbauprinzip der Elektroden

Komplettiert man den Preßgaskondensator mit einem Unterspannungsteil aus speziellen temperaturstabilen Kondensatoren (HF-Kondensatoren mit Glimmerdielektrikum), entsteht ein Spannungsteiler, dessen Teilerverhältnis praktisch auch temperaturunabhängig ist. Zum Beispiel änderte sich das Teilerverhältnis des MCP 100 mit einem solchen Unterspannungsteil im Temperaturbereich von — 30 °C bis + 70 °C um weniger als 0,5 %.

4. Zusammenfassung

Mit der neuen Baureihe Preßgaskondensatoren und den neuen AC/DC Peak Voltmetern MU 11, MU 13 stehen nun TuR-Komponenten für Wechselspannungs-Meßsysteme bereit, die hohen Anforderungen an die Genauigkeit bei Hochspannungsmessungen und dielektrischen Messungen gerecht werden. Sie erfüllen, wie durch die Fachabteilung Metrologie in der Elektrotechnik des ASMW bestätigt wurde, nicht nur alle Voraussetzungen innerhalb von Betriebsmeßsystemen für hohe Prüfspannungen, sondern es können mit ihrer Hilfe auch hochgenaue Referenzmeßsysteme [12] aufgebaut werden.

Literatur

[1] *Mosch, W.; Hauschild, W.:* Hochspannungsisolierungen mit Schwefelhexafluorid. Berlin: VEB Verlag Technik 1979

[2] *Exner, W.:* Berechnungsverfahren für großflächige Elektroden auf der Grundlage des Vergrößerungsgesetzes. Dissertation, TU Dresden 1984

[3] *Hauschild, W.; Thümmler, K.; Wagner, V.; Pfaff, R.:* Bausteine zur Erzeugung und Messung hoher Gleich- und Wechselspannungen. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 10, S. 377–380

[4] IEC 376. Genaue Beschreibung und Prüfung neuer Schwefelhexafluoride. Ausgabe 1974

[5] Werkstandard PSTA-WS 002/01. GUP-Rohre, gewickelt, Rohrtyp I mit Chemieschutzschicht, Anwendungsbereich, Abmessungen, Laminataufbau. Ausgabe 1986

[6] Werkstoff- und Bauvorschriften der Dampf- und Drucktechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1978

[7] TGL 32903. Behälter und Apparate — Festigkeitsberechnung. Ausgabe 1983

[8] Richtlinie für Druckgefäße aus nichtmetallischen Werkstoffen des Staatlichen Amtes für Technische Überwachung. Ausgabe 12.77

[9] TGL 200-0057. Prüfung auf den Einfluß äußerer mechanischer Faktoren. Ausgabe 1984

[10] *Menzel, W.:* Zur Klimabeständigkeit von Kunststoff-Innenraumisolierungen. Dissertation. TH Zittau 1988

[11] *Rausendorf, S.; Schufft, W.:* Berechnung des elektrischen Feldes kugelförmiger Teller-Segmentelektroden. ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 6, S. 213–219

[12] *Hauschild, W.; Spiegelberg, J.:* Gerätemäßige Voraussetzungen zur Beglaubigung von Hochspannungs-Meßsystemen. ELEKTRIE, Berlin 43 (1990) 1, S. 7–9

EA 6087

Elektroden an Hochspannungs-Prüfanlagen – funktionelle Bedeutung und technologischer Stand

W. Schufft, KDT; Dresden

Mitteilung aus dem VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden

Für Prüfanlagen im Megavoltbereich kann das Isoliervermögen der atmosphärischen Luft nur durch den Einsatz großflächiger, schwachgekrümmter Hochspannungselektroden bzw. -elektrodensysteme gewährleistet werden.
Die Herstellung großflächiger Hochspannungselektroden mit geschlossener Oberfläche ist technologisch aufwendig und mit hohen Kosten verbunden. Der Anteil körperlich schwerer und teilweise auch gesundheitsschädigender Arbeitsgänge (Polyesterverarbeitung) ist hoch. Wegen der geringen Stückzahlen und der großen Formenvielfalt kann eine Rationalisierung der Fertigung nur sehr begrenzt erfolgen. Elektroden mit geschlossener Oberfläche benötigen ein großes Transportvolumen. Zu ihrer Verpackung muß teures Holz eingesetzt werden. Trotzdem sind schwer reparierbare Transportschäden nicht auszuschließen. Dagegen können aus einzelnen, vorzugsweise tellerförmigen Segmenten zusammengesetzte Elektroden (Teller-Segmentelektroden) durch Wahl des Stützgerüstes fast beliebig groß ausgeführt werden. Solche Elektroden sind seit längerer Zeit unter dem Begriff „Polyconelektroden" bekannt [1]. Nach der im VEB TuR Dresden entwickelten technischen Lösung sind ihre Bestandteile, d. h. Elektrodenteller und Standardteile zum Aufbau des Stützgerüstes, rationell zu fertigen und einfach zu montieren. Diese Teller-Segmentelektroden (Bild 1) erfordern in demontiertem Zustand ein geringes Transportvolumen [2].

1. Funktionelle Aufgaben

Die Zuverlässigkeit von Hochspannungs-Prüfanlagen im Megavoltbereich wird wesentlich durch die Beherrschung der auftretenden Isolierprobleme bestimmt. Wegen ihrer Großräumigkeit kommt atmosphärische Luft als der einzige Isolierstoff für die äußeren Isolierungen in Frage.
Haben Luftisolierungen für Betriebsmittel in der Energieversorgung zumeist stark inhomogene Felder, so ist dagegen die Gewährleistung des Isoliervermögens der Luftisolierungen von Prüfanlagen zur Erzeugung von Prüfspannungen im Megavoltbereich nur durch zielgerichtete Gestaltung des elektrischen Feldes möglich. Zur Reduzierung der feldstärkemäßigen Beanspruchung der Luft werden großflächige, schwachgekrümmte Elektroden eingesetzt. Erfahrungen zeigen, daß mit Elektrodensystemen, bestehend aus Haupt- und Steuerelektroden, optimale Lösungen erreicht werden [3]. Diese Elektroden bzw. Elektrodensysteme müssen gewährleisten, daß weder ein Durch- oder Überschlag zwischen Prüfanlagenteilen oder zur geerdeten Umgebung erfolgt, noch die Spannungsform der Prüfspannung verfälscht wird. Mit der verstärkten Anwendung der Teilentladungsmeßtechnik bei Entwicklungsuntersuchungen, Stückprüfungen und Vor-Ort-Prüfungen ergeben sich auch für die Isolierungen von Prüfanlagen besonders im unteren und mittleren Spannungsbereich Forderungen nach einem niedrigen TE-Pegel. Er muß auch durch die elektrodenbestimmten Luftisolierungen gewährleistet werden.

2. Elektrodenkonzeption und Elektrodenabmessungen

Die Elektrodenkonzeption bestimmt bei Prüfanlagen im Megavoltbereich ganz wesentlich den Materialbedarf und deren Abmessungen. Als ein Beispiel sei die Wechselspannungs-Prüfanlage TuR-WP 12600/3000 (3 MV) [4] genannt. Eine Überarbeitung der ursprünglichen Konzeption führte zur Reduzierung der Elektrodenfläche und der Anzahl der einzusetzenden Stützer auf etwa zwei

Dr.-Ing. *Wolfgang Schufft* ist Entwicklungsingenieur im Anlagenlabor des VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Herrmann Matern" Dresden.

Drittel (etwa 1700 m² und etwa 200 Stützer) sowie zu einer deutlichen Reduzierung der Grundfläche.

Neben den Abmessungen der Prüfanlage selbst bestimmt deren Elektrodenkonzeption die notwendigen Wand- und Deckenabstände und damit den Platzbedarf maßgeblich, was besonders bei Innenraumanlagen ein wesentliches Verkaufsargument ist.

Mit der Erhöhung der Nennspannung der Prüfanlagen wächst der Aufwand für die Hochspannungselektroden überproportional an. Die bei der Dimensionierung zugrunde zu legenden Einsetzhöchstfeldstärken sinken mit der Erhöhung der zu beherrschenden Spannung, d.h. mit der Vergrößerung von Elektrodenkrümmungsradien und -flächen.

Die Ursache für das Absinken der Einsetzhöchstfeldstärke ist für Elektroden mit hochwertiger Oberfläche, z.B. Meßkugeln, in der schon von *Schumann* festgestellten Abhängigkeit der Einsetzhöchstfeldstärke vom Krümmungsradius [5] [6] zu suchen. Demnach sinkt die Einsetzfeldstärke mit der Vergrößerung des Krümmungsradius bis auf die Einsetzfeldstärke des Homogenfeldes (24,5 kV/cm).

Von weitaus größerer praktischer Bedeutung ist die Tatsache, daß besonders an technischen Elektroden, wie sie an Prüfanlagen eingesetzt werden, technologisch bedingte Störstellen zu einer Streuung der Einsetzhöchstfeldstärke führen. Bei Elektroden von einigen hundert Quadratmetern Fläche kann durch statistische Vergrößerungseffekte die Einsetzhöchstfeldstärke auf Werte um 10 kV/cm sinken. Nach von *Bürger* [7] für die Kugel angegebenen Grenzfeldstärken (d.h. zulässige Höchstfeldstärken) ergibt sich für die qualitativ repräsentative Modellanordnung „Kugel frei im Raum" die im Bild 2a) dargestellte Abhängigkeit der zulässigen Höchstfeldstärke von der zu beherrschenden Spannung. Daraus läßt sich die zur Beherrschung einer bestimmten Spannung notwendige Kugeloberfläche als ungefähres Maß für die Kosten bei der Herstellung berechnen (Bild 2b). Diese Kosten steigen quadratisch mit der Spannung.

Wird z.B. eine Kugelelektrode für die Nennspannung von 3 MV (Scheitelwert) nur um 10% überdimensioniert, so steigen die Kosten (d.h. die Elektrodenfläche) auf 160% der für die Nennspannung erforderlichen Kosten. Andererseits haben Untersuchungen ergeben, daß Prüfanlagen nur in durchschnittlich 1% ihrer Betriebszeit (d.h. der eingeschalteten Zeit) im Bereich zwischen 90 und 100% der Nennspannung betrieben werden [8]. Dieser Bereich bestimmt

Bild 1. Wechselspannungs-Prüfanlage TuR-WP 1200/1500 (1200 kV) mit Teller-Segmentelektroden

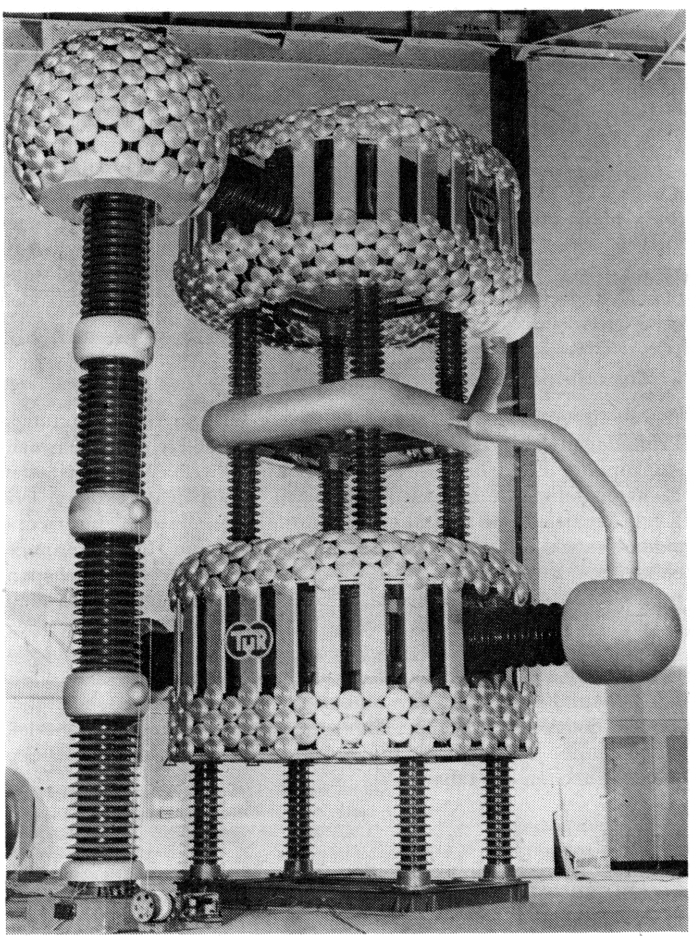
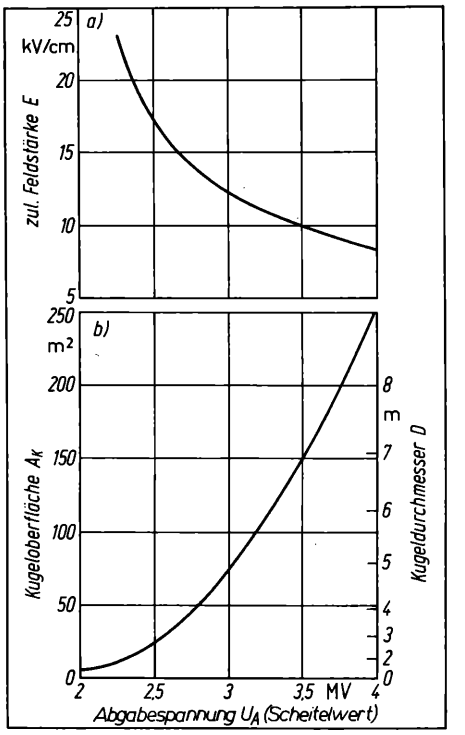


Bild 2
Zulässige Feldstärke nach *Bürger* [7] (a) und notwendige Elektrodenfläche und -durchmesser für Kugel „frei im Raum" (b)



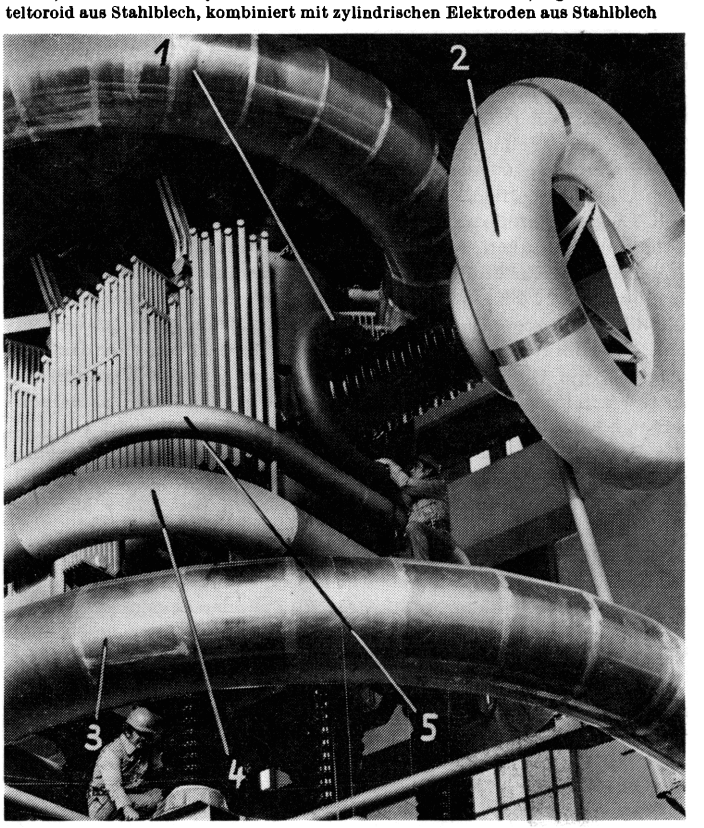
aber, dieselbe Anordnung und Nennspannung vorausgesetzt, 50% der Elektrodenkosten. Diese kurze Betrachtung soll die ökonomischen Effekte aus einer optimalen Elektrodendimensionierung andeuten.

3. Herstellungstechnologien für Hochspannungselektroden

Die Herstellung großflächiger, schwachgekrümmter Hochspannungselektroden ist schon immer technologisch aufwendig gewesen, da eine große Formenvielfalt bei kleinen Stückzahlen benötigt wird.

Die wohl am häufigsten angewandte Herstellungstechnologie ist das Metalldrücken. Mit feststehenden Rollenhebeln wird eine Blech-

Bild 3. Elektroden unterschiedlicher Herstellungstechnologie an einer Wechselspannungs-Prüfanlage TuR-WP 2250/2250 (2250 kV)
1 gedrückter Toroid aus Stahlblech; 2 GfP-Toroid, zusammengesetzt aus Vierteltoroiden und Stahlblechbandagen; 3 Zylinder-Segmentelektrode; 4 GfP-Vierteltoroid, kombiniert mit zylindrischen Elektroden aus Stahlblech; 5 gedrückter Vierteltoroid aus Stahlblech, kombiniert mit zylindrischen Elektroden aus Stahlblech



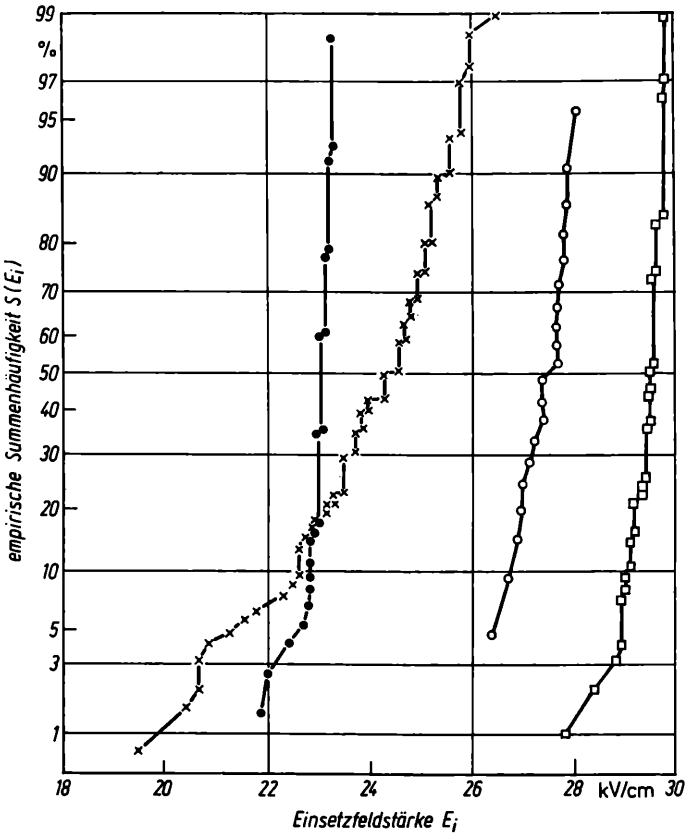


Bild 4. Einsetzfeldstärke verschiedener Elektrodentypen, berechnet ausgehend von der Hüllkontur
□ gedrückte Kupferkugel (D = 1 m) gegen Halbkugel (D = 1 m) auf einer Platte (s = 0,5 m) nach [3]
× kugelförmige GfP-Elektrode (D = 1 m) gegen Halbkugel (D = 1 m) auf einer Platte (s = 0,5 m) nach [3]
O toroidförmige Zylinder-Segmentelektrode (D = 3,5 m; d = 1 m) waagerecht gegen Platte (s = 1 m) nach [3]
● kugelförmige 32-Teller-Elektrode (D = 1,6 m; $d\hat{T}$ = 0,5 m) gegen Platte (s = 0,5 m)

ronde an ein rotationssymmetrisches Drückfutter (meist aus Schichtpreßholz) gedrückt, wobei Drückfutter und Ronde rotieren. Als Materialien werden Stahl-, Aluminium- und Kupferbleche verwendet. Mit diesem Verfahren lassen sich rotationssymmetrische Elektroden bis zu 3 m Durchmesser herstellen (Bild 3). Es ist möglich, eine hohe Oberflächengüte zu erzielen. Alle Kugeln und Kugelkalotten für Meß- und Schaltfunkenstrecken werden nach diesem Verfahren hergestellt. Kugeln, Hauben, Toroide oder Flanschelektroden müssen am größten Umfang anfänglich geteilt sein, um ein Entformen vom Drückfutter zu ermöglichen.
Eine weitere Technologie ist die Herstellung von Hochspannungselektroden aus glasfaserverstärktem Polyesterharz (GfP), die dann nachträglich oberflächenmetallisiert werden (Bild 3). Herstellbar sind Elektrodenteile mit Abmessungen bis zu 2,5 m, wie Vierteltoroide und Hauben, aber auch nichtrotationssymmetrische Teile. GfP-Teile werden in offenen Hohlformen laminiert, wobei die Entformbarkeit gewährleistet sein muß. Laminieren ist mit gesundheitsschädigenden aceton- und styrolhaltigen Lösungsmitteln verbunden. Die laminierten Teile werden zu Vierteltoroiden oder Hauben verklebt, die Oberfläche durch thermisches Zinkspritzen metallisiert. Vierteltoroide werden mit Bandagen zu Toroiden zusammengefügt oder mit zylindrischen Blechelektroden kombiniert (Bild 3). Die Herstellung, das Metallisieren und die mechanische Bearbeitung der GfP-Teile sind gesundheitsschädigende Arbeitsgänge[1]). Die technologisch bedingte Oberflächenrauhigkeit führt zu einer vergleichsweise geringen Einsetzfeldstärke.
Große Bedeutung für Hochspannungs-Prüfanlagen im Megavoltbereich haben Zylinder-Segmentelektroden (Bild 3). Zu ihrer Herstellung werden Blechzuschnitte zu Zylindersegmenten gerollt, stumpf aneinander geschweißt und die Stoßstellen verschliffen. Neben Toroiden und Zylindern sind auch Kombinationen von Viertel- oder Halbtoroiden mit Zylindern möglich. Die verschliffenen Stöße toroidförmiger Zylinder-Segmentelektroden führen zu örtlichen Feldstärkeüberhöhungen. Obwohl an diesen Stößen mit einer höheren Festigkeit der Luft zu rechnen ist und sie wegen ihrer relativ geringen Fläche nicht voll entladungswirksam werden, tragen sie zur Senkung der Einsetzspannung gegenüber dem idealen Toroid bei.
International renommierte Hersteller von Hochspannungs-Prüfanlagen setzen seit einiger Zeit im UHV-Bereich fast ausschließlich aus einzelnen, vorzugsweise tellerförmigen Segmenten zusammengesetzte Hochspannungselektroden ein. Solche Teller-Segmentelektroden haben wesentliche Vorzüge. Die Segmente können rationell im Tiefziehverfahren hergestellt werden. Mit der Wahl eines geeigneten Stützgerüstes sind vielfältige Formen über einen weiten Größenbereich möglich.
Die Entwicklung derartiger Elektroden wurde im VEB TuR zu Beginn der 80er Jahre aufgenommen. Ausgehend vom derzeitigen Stand der Technik konnten dabei weitere konstruktive und hochspannungstechnische Vorteile erschlossen werden [9].
Neben den Tellern mit Mittelbefestigung von außen wurden Standardteile zum Aufbau des Stützgerüstes der Teller-Segmentelektrode entwickelt. Das Konstruktionsprinzip gewährleistet eine dichte und damit aus hochspannungstechnischer Sicht optimale Packung der Teller. Der konstruktive Entwurf von Teller-Segmentelektroden erfolgt rechnergestützt.
Die qualitativ bekannte Tatsache, daß die Segmentierung zu einer Feldstärkeerhöhung gegenüber einer gleichgroßen Elektrode mit in sich geschlossener Oberfläche führt, konnte durch ein entsprechend modifiziertes Feldberechnungsprogramm (CSM) quantitativ untermauert werden. Bei der Dimensionierung werden statistische Vergrößerungseffekte berücksichtigt.

4. Vergleich der unterschiedlichen Hochspannungselektroden

Ein Vergleich der Einsetzfeldstärken, d.h. der Höchstfeldstärken bei Streamereinsatz, der beschriebenen Elektrodentypen wird im Bild 4 vorgenommen. Bei der Kupferkugel handelt es sich um die Elektrode einer Meßkugelfunkenstrecke. Sie ist nicht typisch für gedrückte Hochspannungselektroden, sondern eher als obere Grenze der praktisch erreichbaren Einsetzfeldstärke anzusehen. Zur Ermittlung der Einsetzfeldstärken der Teller-Segmentelektrode und der Zylinder-Segmentelektrode wurde deren Hüllkontur zugrunde gelegt. Für technisch-interessierende kleine Wahrscheinlichkeiten (z.B. 1%-Quantil) liegt die Einsetzfeldstärke der Teller-Segmentelektrode über der der GfP-Elektrode. Sie liegt 15% unter der Einsetzfeldstärke der Zylinder-Segmentelektrode und 21% unter der Einsetzfeldstärke der Kupferkugel.
Den vorher beschriebenen Vorteilen von Teller-Segmentelektroden stehen Nachteile gegenüber, die sich aus dem Freilufteinsatz ergeben. So führen Störstellen, wie etwa Staubablagerungen und Wassertropfen, an der hochwertigen Oberfläche von Teller-Segmentelektroden zu einer stärkeren Senkung der Einsetzfeldstärke als das an Elektroden mit an sich schon „schlechterer" Oberfläche der Fall ist. Erhöhte Eis-, Schnee- und Wasserlasten sowie um etwa 30% höhere Windlasten gegenüber Elektroden mit geschlossener Oberfläche erfordern einen größeren konstruktiven Aufwand. Aufgrund dieser Nachteile wird beim Freilufteinsatz nicht auf Ablösung der Zylinder-Segmentelektroden durch Teller-Segmentelektroden orientiert.

5. Zusammenfassung

Das Isoliervermögen der atmosphärischen Luft an Hochspannungs-Prüfanlagen kann nur durch den Einsatz großflächiger, schwachgekrümmter Elektroden gewährleistet werden. Aus einer optimalen Elektrodendimensionierung lassen sich beachtliche ökonomische Effekte erzielen, die sich in einem minimierten Materialeinsatz und einem gesenkten technologischen Aufwand für die Hochspannungselektroden sowie einem geringen Platzbedarf für die Hochspannungs-Prüfanlage ausdrücken. Die gebräuchlichen Elektrodentypen — gedrückte Elektroden, GfP-Elektroden, Zylinder-Segmentelektroden und Teller-Segmentelektroden — werden bezüglich ihrer Herstellungstechnologie und ihres Entladungsverhaltens verglichen. Für den Innenraumeinsatz haben Teller-Segmentelektroden deutliche Vorteile. Hingegen sind Zylinder-Segmentelektroden unter Freiluftbedingungen derzeit nicht durch Teller-Segmentelektroden ersetzbar.

Literatur

[1] *Scherer, H. N.; Thoren, B.:* Die AEP-ASEA-Versuchsstation für Hochspannung. ASEA-Zeitschrift 22 (1977) 6, S.123–126

Fortsetzung auf Seite 30

[1]) Seit mehreren Jahren ist die Produktion von GfP-Teilen im VEB TuR wegen der starken Gesundheitsgefährdung eingestellt.

Hinweise für die Manuskriptgestaltung

Bei der Anfertigung der Manuskripte sind folgende Hinweise unbedingt zu beachten:

1.
Der Aufsatz sollte nicht mehr als 3 Druckseiten umfassen (Original und Durchschlag sind einzureichen).

2.
1 Druckseite entspricht etwa 4,5 Schreibmaschinenseiten ohne Illustrationen. Bilder und Tafeln sind entsprechend ihrer Größe vom Text abzuziehen.

3.
Das **Thema** soll übersichtlich und verständlich dargestellt werden.

4.
Die **Überschrift** ist möglichst prägnant und kurz abzufassen.

5.
Das Manuskript ist durch sinnvolle **Zwischenüberschriften** zu gliedern (Zehnernumerierung).

6.
Es soll 2zeilig mit 63 Anschlägen je Zeile geschrieben werden. Es können auch Computerausdrucke mit einem sauberen und kontrastreichen Schriftbild eingereicht werden, sofern durchschnittlich 63 Anschläge je Zeile eingehalten werden (kein Randausgleich!).

7.
Bilder (Zeichnungen und Fotos) und **Tafeln** sind fortlaufend zu numerieren, ihre Einordnung ist am Rand des Manuskripts zu vermerken (z.B. B. 1, T.1 usw.) und sind gesondert beizulegen (nicht in das Manuskript einkleben). Bildunterschriften und Tafelüberschriften sind getrennt auf ein besonderes Blatt zu schreiben.

8.
Jedes Bild und jede Tafel müssen im Text erwähnt sein.

9.
Schwarzweiß-Fotos müssen scharf, zwischen 13 cm × 18 cm und 18 cm × 24 cm sowie auf Hochglanzpapier angefertigt sein. Strukturierte Oberflächen (z.B. Rasterkorn) sowie gedruckte Fotos (bzw. Kopien gedruckter Fotos) sind als Vorlagen ungeeignet. Die Fotos dürfen nicht aufgeklebt werden.

10.
Zeichnungen sind standardgerecht und korrekt auszuführen. Es genügen saubere Bleistiftzeichnungen.

11.
Gleichungen sind eindeutig zu schreiben. Auf Groß- und Kleinbuchstaben, auf Indizes und Exponenten und auf deren Übereinstimmung in Bild und Text ist besonders zu achten. Bei einfachen Gleichungen — vor allem im laufenden Text — ist bei Division der schräge Bruchstrich zu verwenden.
Formelzeichen, deren Größen multipliziert werden, sind ohne Rechnungszeichen nebeneinander zu schreiben.
Ableitungen sollen nur dann gebracht werden, wenn sie für die Anwendung der Gleichung notwendig sind. Dabei sind Zwischenrechnungen auf das unbedingt notwendige Maß zu reduzieren.

12.
Die Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI) — Basiseinheiten, ergänzende Einheiten, abgeleitete Einheiten — sind konsequent anzuwenden.

13.
Fußnoten sind möglichst zu vermeiden. Sind sie unbedingt notwendig, müssen sie, auf einem besonderen Blatt geschrieben, dem Manuskript beigelegt werden.

14.
Auf die **zitierte Fachliteratur** soll im Text mit Zahlen in eckigen Klammern hingewiesen werden. Die Literatur darf nicht in der Fußnote stehen, sondern ist am Schluß des Manuskripts unter der Überschrift „Literatur" aufzuzählen. Bei der Wiedergabe fremdsprachiger Literatur ist die Übersetzung des Titels, in Klammern gesetzt, mit anzugeben. Kyrillische Buchstaben sind in lateinische Schriftzeichen zu transliterieren (nach Duden).

Angaben bei
Zeitschriften: Verfassername, Komma, Vorname(n) abgekürzt, falls ein weiterer Name folgt, Strichpunkt, sonst Doppelpunkt, Aufsatztitel, Punkt, Name der Zeitschrift, Bandnummer, Jahreszahl in runden Klammern, Heftnummer, Komma, S. mit erster und letzter Seite des Aufsatzes.
Büchern: Bis einschl. Titel wie oben, Punkt, Verlagsort, Doppelpunkt, Verlagsname, Komma, ggf. Auflage, Komma, Jahr, Punkt, ggf. Seitenhinweise.
Standards: Standardnummer (keine Zwischenräume zwischen den Ziffern), Blattnummer nach Schrägstrich, Ausgabedatum in der Reihenfolge Monat — Jahr und Sachtitel.
Erfindungsbeschreibungen: Land, das die Erfindungsbeschreibung veröffentlicht, Patentart, Nummer, Klasse, Sachtitel, Name(n) des bzw. der Anmelder und/oder Erfinder und Ausgabedatum.

Beispiele:

[1] *Habiger, E.:* Möglichkeiten zur Erhöhung der Effektivität wissenschaftlicher Arbeitsprozesse — Ratschläge für angehende Ingenieure und junge Wissenschaftler. ELEKTRIE, Berlin 36 (1982) 7, S. 339–341
[2] *Habiger, E.:* Einige grundsätzliche Überlegungen zur Formalisierung und Effektierung des Entwurfs automatischer Systeme. ELEKTRIE, Berlin 34 (1980) 1, S. 3–8
[3] *Vogel, J.*, u.a.: Elektrische Antriebstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1988
[4] TGL 24569/02 Ausg. 12/75: Mikroelektronik; Klassifizierung integrierter Schaltkreise; Einteilung nach Funktionen
[5] DD; WP 262 522; Int. Cl. H 03 M 303 524 5. Verfahren und Schaltungsanordnung zur Quantisierung von bebürdeten Stromwandlern. *Ermisch, J.; Brendler, W.*, 04. 06. 1987

15.
Auf einem gesonderten Blatt muß eine **Zusammenfassung** des Inhalts von etwa 10 Schreibmaschinenzeilen für die Dokumentation beigelegt werden.

16.
Genehmigungspflichtigen Manuskripten ist eine von der Arbeitsstelle erteilte Freigabe zur Veröffentlichung beizulegen.

17.
Vom redigierten und umgeschriebenen Manuskript erhält der Autor (bei mehreren Autoren der federführende) einen Durchschlag zur Durchsicht, Korrektur und Druckreiferklärung. Korrekturen sind deutlich und auffallend (Farbstift!) am Rand des Manuskripts zu vermerken. Wir weisen ausdrücklich darauf hin, daß nach Druckreiferklärung keine Änderungen mehr möglich sind.

18.
In Zweifelsfällen ist zu empfehlen, neuere Hefte der Zeitschrift ELEKTRIE als Muster zu benutzen oder in der Redaktion nachzufragen (Anschrift und Telefonnummern siehe Impressum).

Die Redaktion

Neue Scheitelspannungs-Meßgeräte mit digitaler Direktanzeige

G. Vetters, KDT; K. Thümmler, KDT, Dresden

Mitteilung aus dem VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden

Während für kleine Hochspannungs-Prüfanlagen ($\hat{u} < 1000$ kV, $P < 200$ kVA) kostengünstige Standard-Meßgeräte benötigt werden, sind für größere und automatisierte Prüfanlagen Geräte mit hohem Bedienkomfort und Anschlußmöglichkeiten an Mikrorechner-Steuer- und Auswertesysteme erforderlich.
Darüber hinaus wird, dem derzeitigen Stand der Technik entsprechend, für beide Gruppen gefordert, daß

— die Meßgeräte eine Digitalanzeige haben
— der Meßwert direkt, unter Einbeziehung des Teilerverhältnisses des extern angeschlossenen Teilers und der Maßeinheit (V, kV, MV) angezeigt wird
— das oben genannte Teilerverhältnis einfach in das Gerät eingegeben werden kann
— ein kleiner Meßfehler ($\leqq 1\,\%$ für das Meßgerät) sichergestellt wird
— eine interne Funktionskontrolle der Geräte möglich ist
— die Ausführung wahlweise als Einzelgeräte oder Einschübe in Prüfanlagensteuerungen erfolgt.

Um möglichst allen Anforderungen gerecht zu werden, wurde im VEB TuR Dresden eine Familie aus fünf neuen Scheitelspannungs-Meßgeräten konzipiert:

— MU 11: Standard-Gerät für Wechsel- und Gleichspannung [1] (mit einer Spannungsanzeige bis $\hat{u} = 1$ MV)
— MU 12: Standard-Gerät für Impulsspannung (bis $\hat{u} = 1$ MV)
— MU 13: Standard-Gerät für Wechsel- und Gleichspannung (bis $\hat{u} = 5$ MV)
— MU 21: Komfort-Gerät für Wechsel- und Gleichspannung (bis $\hat{u} = 5$ MV)
— MU 22: Komfort-Gerät für Impulsspannung (bis $\hat{u} = 10$ MV)

Die Geräte MU 12 und MU 21 befinden sich z. Z. noch in der Entwicklung.

1. Standard-Geräte

1.1. Allgemeines

Den eingangs genannten Forderungen wird mit den Geräten MU 11, MU 12 und MU 13 (Bild 1) folgendermaßen entsprochen:

Dipl.-Ing. *Gerd Vetters* und Dipl.-Ing. *Klaus Thümmler* sind Entwicklungsingenieure im Anlagenlabor des VEB TuR Dresden.

— Die Meßwerte werden $4^1/_2$stellig (MU 13) bzw. 3stellig digital und direkt in kV angezeigt. Durch eine automatische interne Bereichsumschaltung erfolgt eine optimale Ausnutzung der Anzeige. Externe Umschaltungen sind nicht erforderlich.
— Das Teilerverhältnis des externen Teilers wird mit einem Einstellwiderstand an der Frontplatte des Gerätes unter Berücksichtigung eines Kommaschalters eingegeben (RATIO) und am Display angezeigt.
— Eine interne Funktionskontrolle ist mit Hilfe einer Referenzgleichspannung möglich (Betriebsart CAL). Durch Eingabe normierter Niederspannungssignale ($\hat{u} \leqq 10$ V) können die Geräte auch für Wechsel- und Impulsspannungen getestet werden (CHECK).
— Als Peripherie sind Oszillograf (OSC) und Digitalvoltmeter (INST) anschließbar.
Bei allen 3 Geräten wurden durch den konsequenten Einsatz von Operationsverstärkern und Widerstandsnetzwerken eine ausgezeichnete Linearität und ein gutes Temperaturverhalten erzielt.

1.2. AC/DC-ScheitelspannungsMeßgeräte MU 11 und MU 13

Die Schaltungen der Geräte MU 11 und MU 13 sind bis auf veränderte Umsetzbreite des Analog-Digital-Umsetzers (ADU) identisch (Bild 2).
Abhängig von der gewählten Betriebsart (Block BA) gelangt das zu bewertende Signal entweder von den Eingängen INPUT (Hochspannungssignal) oder CHECK (Kleinspannung) oder von den internen Referenzspannungen (U_{Ref}) über einen Impedanzwandler (IW) und eine Polaritätsumschaltung (POL) zum Meßkreis (MK). Er besteht aus aktivem Gleichrichter und Spitzenwertgleichrichter, wodurch die Bewertung des arithmetischen Mittelwertes, Scheitelwertes sowie Scheitelwert $\sqrt{2}$ möglich ist. Die Löschstufe (LK) führt die Meßspannung bei sinkender Eingangsspannung zügig nach, indem sie zeitweise den Meßkondensator entlädt. In der folgenden Anpaßstufe (ANP) wird das eingestellte Teilerverhältnis des externen Teilers (RATIO) berücksichtigt und die automatische Bereichsumschaltung realisiert. Eine Kombination aus Analog-Digital-Umsetzer und Display (Block ADU) bringt den Meßwert zur Anzeige.
Über eine Steuerstufe (STEU) erfolgt die Auslösung der Meßwertspeicherung wahlweise durch ein Signal der Durchschlagerfassung (DE), von Hand (MEM) oder durch externe Einspeisung (STORAGE).

1.3. Impuls-Scheitelspannungs-Meßgerät MU 12

Die Blockschaltung ist denen der Geräte MU 11 und MU 13 nahezu identisch (Bild 2). Allerdings sind die Blöcke in der Schaltungsausführung den schnelleren und einmaligen Vorgängen der Impulsspannung entsprechend anders untersetzt.
Da bei jedem Vorgang der Meßwert gespeichert werden muß, entfällt eine separate Durchschlagserfassung. Das nötige Triggersignal für den Block ADU wird direkt dem Meßkreis entnommen. Er besteht aus zwei Spitzenwertgleichrichtern, wobei der erste eine wesentlich kleinere Zeitkonstante hat als der zweite. Damit wird es auch für abgeschnittene Blitzspannungen möglich, den Analogwert bis zur Digitalisierung durch den Block ADU konstant zu halten.

1.4. Aufbau

Die auch als Einschübe lieferbaren Geräte MU 11, MU 12 und MU 13 sind zusammen mit einem geeigneten Unterspannungskondensator bzw. -widerstand in einem $^1/_2$-EGS-Normalgehäuse untergebracht.

Bild 1. AC/DC-Scheitelspannungs-Meßgerät MU 13

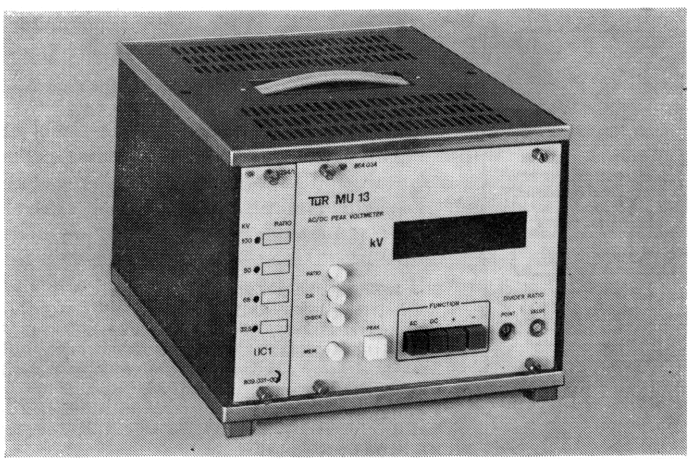
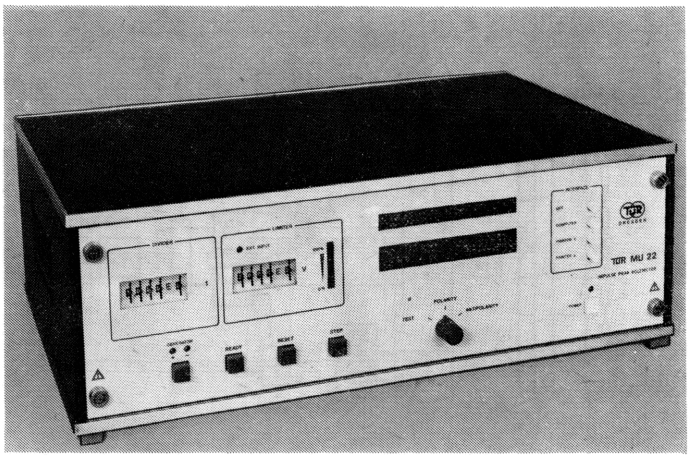


Bild 3. Impuls-Scheitelspannungs-Meßgerät MU 22



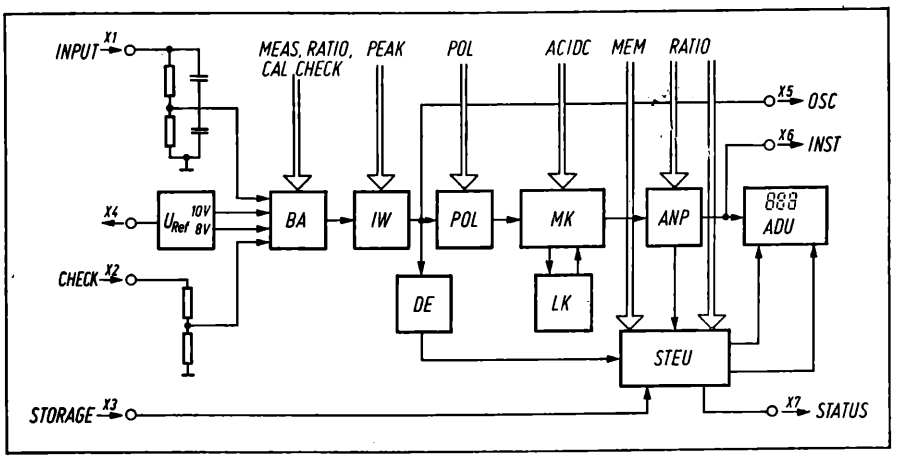


Bild 2. Blockschaltung MU 11
U_{Ref} Referenzspannungsquelle; BA Betriebsart; IW Impedanzwandler; POL Polaritätsumschaltung; MK Meßkreis; LK Löschkreis; ANP Anpaßstufe; ADU Analog-Digital-Umsetzer; STEU Steuerstufe

Die äußere Form der Geräte MU 11 und MU 12 ist weitgehend identisch.

2. Komfort-Geräte

2.1. Allgemeines

Das schaltungstechnische Konzept der Geräte MU 21 und MU 22 (Bild 3) basiert auf dem Einsatz von Einchip-Mikrorechnern. Dadurch wurde es möglich, über die eingangs genannten Forderungen hinauszugehen:

— Die Meßwerte werden direkt 4stellig digital mit ihrer Maßeinheit (MV, kV, V) angezeigt. Das Display wird immer optimal ausgenutzt.
— Das Teilerverhältnis des extern angeschlossenen Teilers wird mit Hilfe von Vorwahlschaltern digital eingegeben (DIVIDER).
— Durch ein internes Testprogramm ist die Überprüfung aller Bedien- und Anzeigeelemente möglich. Eine Überprüfung der Meßkreise ist sowohl durch die interne Referenzgleichspannung als auch mit Hilfe definierter Kleinspannungssignale ($\hat{u} \leqq 10$ V) durchführbar (CHECK).
— Neben einem Oszilloskop kann wahlweise ein Mikrorechner oder ein Meßwertdrucker angeschlossen werden. Dafür ist eine standardisierte Schnittstelle (V.24 oder IFSS) vorhanden.
— Der wirksame Schutz der Prüflinge ist durch die Begrenzerfunktion möglich. Beim Überschreiten einer digital eingegebenen Grenzspannung (LIMITER) wird neben der optischen Anzeige ein beliebig nutzbarer Kontakt geschaltet.
— Die Bedienerführung wird durch eine 12stellige alphanumerische Anzeige unterstützt.

Die Schaltungen der Geräte MU 21 und MU 22 lassen sich jeweils in die Baugruppen Analogteil und Anzeige-/Bedienteil unterteilen. In jeder Baugruppe ist ein Einchip-Mikrorechner (EMR) für die Steuerung der Abläufe verantwortlich. Der Anzeige-/Bedienteil ist schaltungsmäßig für die Geräte MU 21 und MU 22 identisch. Unterschiede gibt es nur in den dazugehörigen Programmen.

2.2. Impuls-Scheitelspannungs-Meßgerät MU 22

Innerhalb eines Meßzyklusses verarbeitet EMR1 (Bild 4) zunächst die vom Anzeige-/Bedienteil kommenden Informationen. Aus den Werten von DIVIDER und LIMITER wird das interne Teilerverhältnis berechnet. Daraufhin wird Multiplexer MUX1 eingestellt, MUX2 entsprechend der gewählten Betriebsart geschaltet.
Die zu messende Impulsspannung gelangt vom Geräteeingang (INPUT) über den internen Teiler, den Eingangsverstärker (EV) und die Spitzenwertgleichrichter (SW-GR), die den Eingangsimpuls getrennt nach der Polarität bewerten, zu Sample-and-hold-Schaltkreisen (S/H). Die nötigen Triggersignale für diese Analogspeicher werden mit Hilfe von Komparatoren (KOM) gebildet. Gleichzeitig wird ein Interrupt-Signal an EMR1 gegeben, woraufhin sofort die AD-Wandlung eingeleitet wird. Da bei jeder Messung die zwei polaritätsabhängigen Spitzenwertgleichrichter angesprochen werden, ist es möglich, sowohl den Scheitelwert in der Polarität der Hochspannungs-Prüfanlage (Betriebsart POLARITY) als auch bei schwingenden Impulsspannungen den entgegengesetzten (ANTI-POLARITY) zu messen. Beide Analogwerte können durch Umschalten von MUX2 nacheinander digitalisiert werden.
Die so gewonnenen Digitalwerte werden von EMR2 mit den Teilerverhältnissen des externen und des internen Teilers multipliziert, zum Anzeige-/Bedienteil übertragen und dort als Digitalwert angezeigt.
Der Einchip-Mikrorechner EMR2 steuert im Multiplexbetrieb alle Anzeigen an und fragt zyklisch den Schaltzustand aller Bedienelemente ab. So werden z. B. die Werte für DIVIDER und LIMITER eingelesen und intern aufbereitet. Alle nötigen Informationen zum und vom Analogteil werden seriell übertragen.

2.3. AC/DC-Scheitelspannungs-Meßgerät MU 21

Der Analogteil ist dem des Gerätes MU 22 sehr ähnlich. Parallel zu den Scheitelwertgleichrichtern (SW-GR) sind die Baugruppen für die wahlweise Erfassung des Effektivwertes oder des arithmetischen Mittelwertes angeordnet. Über den erweiterten Multiplexer MUX2 können diese Werte dem AD-Wandler und über EMR2 der Anzeige (zusätzlich auch Scheitelwert $/\sqrt{2}$) zugeführt werden.
Der Digitalteil ist mit dem des Geräts MU 22 identisch.

2.4. Aufbau

Die Geräte MU 21 und MU 22 haben die gleichen Abmessungen wie das Vorgängererzeugnis MU 9 (EGS-Normaleinschub) und sind somit voll austauschbar.
Die Baugruppen sind auf einzeln steckbaren Leiterkarten untergebracht. Die Geräte haben gleiche Bedien- und Anzeigelemente.

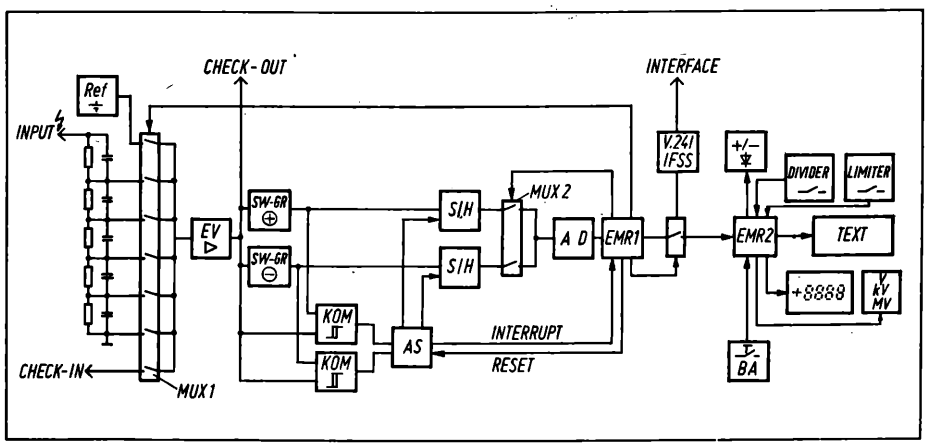


Bild 4. Blockschaltung MU 22
Ref Referenzspannungsquelle; MUX Multiplexer; EV Eingangsverstärker; SW-GR Spitzenwert-Gleichrichter; KOM Komparator; AS Ablaufsteuerung; S/H Analogspeicher; AD Analog-Digital-Wandler; EMR Einchip-Mikrorechner; V.24/IFSS Standardisierte Schnittstelle; TEXT Alphanumerische Anzeige; DIVIDER Teilerverhältnis; LIMITER Grenzspannung; BA Betriebsartenschalter

Teilentladungs- und Oberflächenladungsphänomene an Isolierstoffgrenzflächen in Luft bei Gleichspannungsbelastung

P. Schmiegel, KDT, Dresden

Mitteilung aus der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden

Verwendete Formelzeichen und Indizes

R_s	spezifischer Oberflächenwiderstand
s	Elektrodenabstand
t	Zeit
u	Momentanwert der Spannung
$\hat{u}$	Scheitelwert der Spannung
U	maximaler Spannungswert bei Gleich- und Mischspannung
η	Homogenitätsgrad
ϑ	Temperatur
φ_r	relative Luftfeuchtigkeit
σ	Oberflächenladungsdichte
ω	Kreisfrequenz
EPOX	Epoxidharz
HP + PE	mit PE-Folie bespanntes Hartpapier
PE	Polyethylen
PETP	Polyethylenterephthalat
PMMA	Polymethakrylsäuremethylester

Von Gleichspannungs (GS)-Prüfanlagen werden heute teilweise neben geeigneten Spannungs- und Leistungsparametern die Auslegung für schnelle Polaritätswechsel sowie die Eignung für empfindliche Teilentladungs (TE)-Messungen gefordert [1]. Um Störeinflüsse zu vermeiden, bedingen derartige Entladungsmessungen ein bezüglich TE spezifiziertes Betriebsverhalten der Prüfanlagen. Praktische Erfahrungen zeigen jedoch, daß bereits bei GS-Innenraum-Prüfanlagen TE auf den Grenzflächen der Feststoffisolatoren zünden, deren Einsetzspannungen z.T. weitaus tiefer als bei vergleichbaren, mit Wechselspannung (WS) belasteten Grenzflächenanordnungen liegen. Dabei sind die Isolierstrecken der Hochspannungsgleichrichter besonders markante TE-Quellen.

Da sehr geringe Einsetzspannungen insbesondere nach schnellen Polaritätswechseln auftreten, wird angenommen, daß diese TE bei GS durch Oberflächenladungen (OL) verursacht werden, die zu lokalen Feldstärkeerhöhungen und damit zur Entladungszündung führen. Die Hypothese OL-bedingter Entladungsprobleme ließe sich aber auch in Frage stellen: Die TE-Intensitäten nehmen i.allg. mit der Erhöhung der Luftfeuchtigkeit zu. Ein Anstieg der Luftfeuchte bedingt wiederum eine Verringerung des Oberflächenwiderstandes, wodurch man geringere OL-Dichten vermuten könnte [2]. Bekannte Theorien und Hypothesen zur TE-Phänomenologie an GS-belasteten Grenzflächen [3] bis [10] lassen sich nicht schlüssig übernehmen, so daß experimentelle Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen TE-Zündung und OL angezeigt waren.

Dipl.-Ing. *Peter Schmiegel* ist wissenschaftlicher Assistent am Wissenschaftsbereich Hochspannungstechnik der Technischen Universität Dresden.

Der Autor dankt Prof. Dr.-Ing. habil., Dr. h.c. *W. Mosch*, Prof. Dr. sc. techn. *E. Lemke* und Dr. sc. techn. *W. Hauschild* für wertvolle Hinweise und Anregungen.

Fortsetzung von Seite 26

1. Versuchstechnik

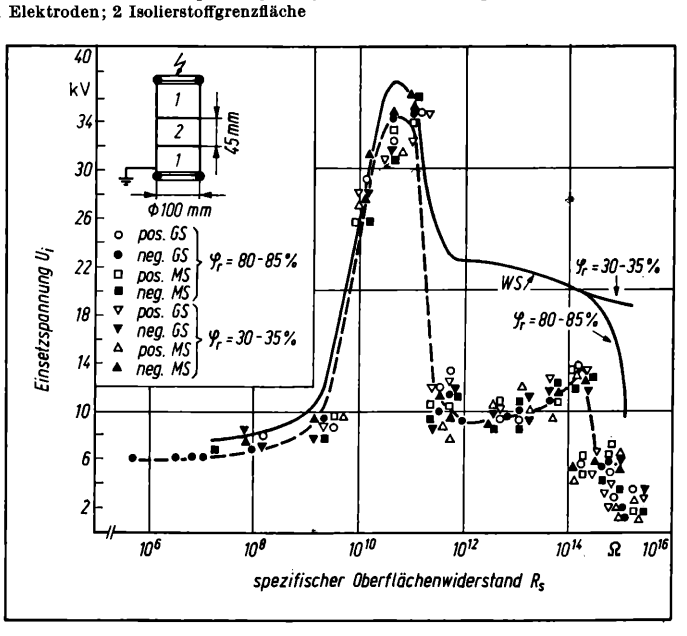
Die Untersuchungen erfolgten bei GS, WS und, zur Simulation der Spannungsverläufe am Gleichrichter, mit einer unipolaren sinusförmigen Mischspannung [MS, $u(t) = \hat{u}(1 + \sin \omega t)$]. Als Modellanordnungen wurden gewählt: zylindrische Prüfkörper aus Hartpapierrohren mit beschichteten Oberflächen ($5 \times 10^5 < R_s < 10^{15}\,\Omega$) und luftspaltfrei aufgezogenen Elektroden aus Kupferfolie (s = 45 mm, stark inhomogenes Feld), Kugel-Isolierstoff-Platte-Anordnungen (schwach inhomogenes Feld, $\eta = 0{,}64$) sowie verschiedene Modellgleichrichter (Gleichrichterelemente mit einer PUR-Isolierung (s = 80 cm, Dmr. = 8 cm) ummantelt). Als Zielgrößen wurden insbesondere Teilentladungskenngrößen (Einsetzspannung, Scheinladung, Häufigkeit) und OL-Verteilungen bewertet. Die Erfassung der OL erfolgte mit kapazitiven Sonden, die auf mit mikrorechnergesteuerten Positioniereinrichtungen installiert waren.

2. Meßergebnisse

Bei den zylindrischen Prüfkörpern stieg die Einsetzspannung zunächst mit zunehmenden Oberflächenwiderstand an, wobei die sehr niederohmigen Prüfkörper unmittelbar nach dem TE-Einsatz unter Bildung von Kriechspuren überschlugen. Die Einsetzspannungen erreichten bei $R_s = 10^{10}$ bis $10^{11}\,\Omega$ einen maximalen Wert und fielen dann, abhängig von der Spannungsform, mehr oder weniger stark ab (Bild 1). Zwischen den Einsetzgleich- und Einsetzmischspannungen beider Polaritäten gab es keine grundsätzlichen Unterschiede. Dagegen unterschieden sich die Einsetzwechselspannungen recht auffällig von denen bei GS und MS — sie waren oberhalb $R_s = 10^{11}\,\Omega$ stets größer. Der Einfluß der relativen Luftfeuchtigkeit ($\vartheta = 22\,°C \pm 2\,K$) auf den TE-Einsatz bei den unipolaren Spannungen (GS, MS) war unerwartet schwach und nicht signifikant. So ergaben sich gegenüber $\varphi_r = 30\,\%$ auch teilweise höhere Einsetzspannungen bei $\varphi_r = 85\,\%$. Höhere Luftfeuchtigkeiten führten bei GS und MS zu leicht geringeren oder gleich großen, aber keinesfalls zu sehr hohen TE-Intensitäten, wie man sie von den Betriebserfahrungen her vermutet hätte.

Oberhalb $R_s = 10^{13}\,\Omega$ zündeten TE an mit GS und MS vorbelasteten Prüfkörpern (U = 30 kV) noch bis zu 7 min nach Spannungsabschaltung und Erdung. Zeitdauer und TE-Intensitäten erhöhten sich dabei mit zunehmendem Oberflächenwiderstand.

Bild 1. Einfluß von Oberflächenwiderstand, rel. Luftfeuchtigkeit und Spannungsform auf die TE-Einsetzspannung der zylindrischen Prüfkörper
1 Elektroden; 2 Isolierstoffgrenzfläche



3. Zusammenfassung

Mit der vorgestellten neuen Familie von Scheitelspannungs-Meßgeräten existieren angepaßte Geräte für alle Aufgaben der modernen Hochspannungs-Meßtechnik. Unter Berücksichtigung der aktuellen Forderungen bezüglich direkter digitaler Meßwertanzeige, Meßgenauigkeit und elektromagnetischer Verträglichkeit können dabei die Wünsche einerseits nach handlichen, kostengünstigen und andererseits nach komfortableren, mit Mikrorechnern korrespondierenden Geräten erfüllt werden.

Literatur

[1] *Thümmler, K.*: Digitales Scheitelspannungs-Meßgerät für Gleich- und Wechselspannung. ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 6, S. 227–228

EA 6078

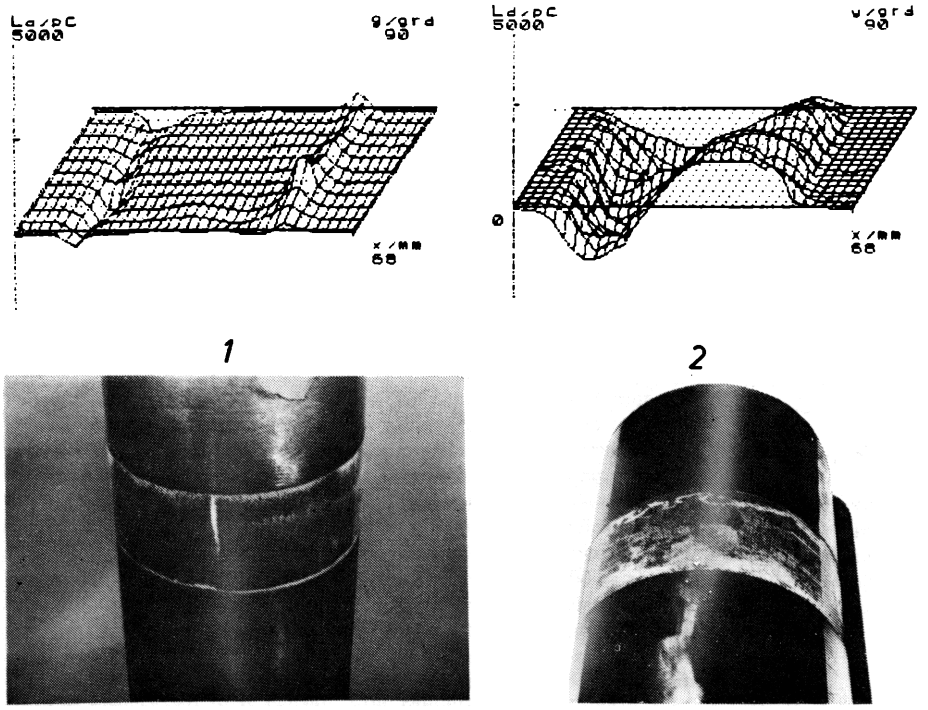


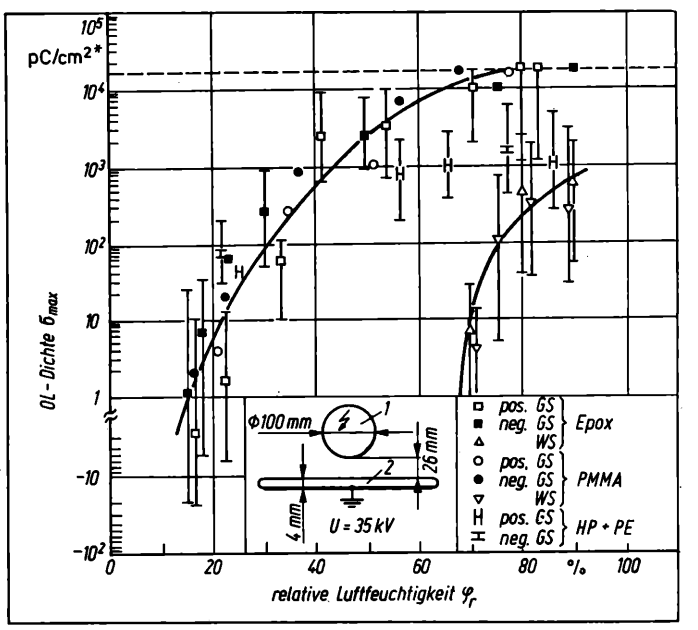
Bild 2. Typische OL-Verteilungen und Staubfiguren der zylindrischen Prüfkörper
1 $\varphi_r = 35\,\%$, $U = 14$ kV, MS, $R_s = 5 \times 10^{14}\,\Omega$
2 $\varphi_r = 83\,\%$, $U = 14$ kV, MS, $R_s = 5 \times 10^{14}\,\Omega$

Bild 3. Einfluß der rel. Luftfeuchtigkeit auf die OL-Dichte bei Isolierstoffplatten der Kugel-Platte-Anordnung
1 Kupferkugel (Hochspannungselektrode); 2 Isolierstoffplatte
Die nach Spannungsbelastung mit negativer Gleichspannung gemessenen OL-Dichten wurden mit entgegengesetztem Vorzeichen aufgetragen: pos. OL als negative und umgekehrt.

Oberflächenladungen und auswertbare Staubfiguren konnten ab einem Oberflächenwiderstand von $R_s = 8 \times 10^{13}\,\Omega$ gemessen werden. Erwartungsgemäß stieg die OL-Dichte mit steigendem Oberflächenwiderstand und steigender Spannung. Ebenfalls erwartungsgemäß waren die nach WS-Belastung gemessenen OL-Dichten generell geringer als die nach GS- und MS-Belastung. Dagegen führte der Feuchteeinfluß bei den unipolaren Spannungsformen wieder zu unerwarteten Effekten: Die OL-Dichten bei 30 bis 35 % relativer Luftfeuchtigkeit waren i.allg. kleiner als die bei 80 bis 85 % (Bild 2). Bei diesen Spannungsformen wurden OL auch unterhalb der Einsetzspannung nachgewiesen — positive OL stets anodenseitig und negative OL stets katodenseitig, jeweils unmittelbar vor den Elektrodenkanten [11].

Oberflächenladungen akkumulieren aber auch im schwach inhomogenen Feld auf den Isolierstoffplatten (Epoxidharz, PMMA, beschichtetes Hartpapier mit $R_s > 10^{14}\,\Omega$) der Kugel-Platte-Anordnungen. Dabei verursachte die Erhöhung der relativen Luftfeuchte einen großen Anstieg der OL-Dichten. Die OL-Polarität entsprach bei Luftfeuchtigkeiten von $\varphi_r > 30\,\%$ immer der an der Kugel liegenden GS (Bilder 3 und 4) [12].

Die Modellgleichrichter zeigten das nach Luftfeuchtesteigerung erwartete TE-Verhalten, d.h. noch geringere Einsetzspannungen und noch höhere TE-Intensitäten. Dabei waren die TE in den der GS-Polarität entgegengesetzten Halbwellen zwar häufiger und größer —



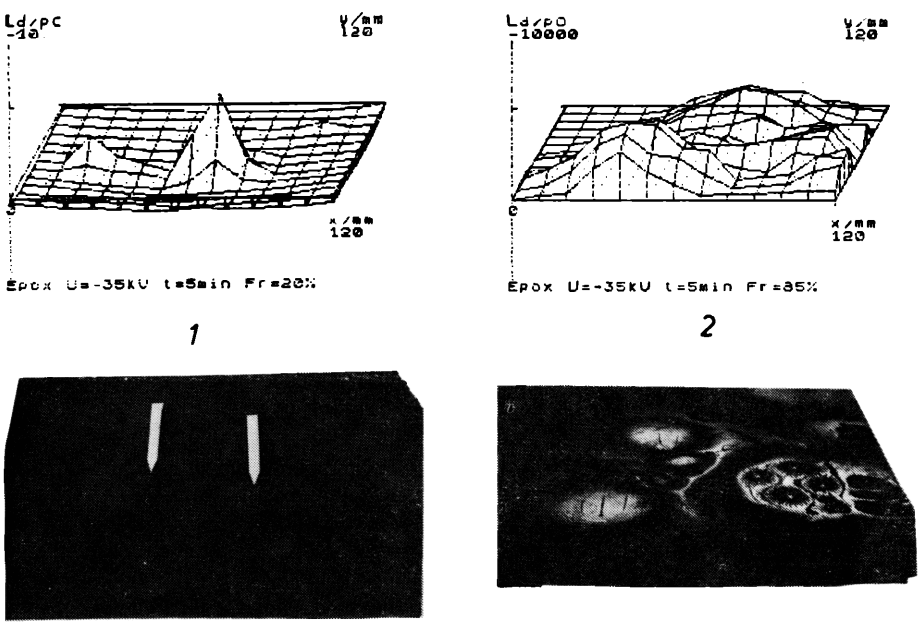


Bild 4. Typische OL-Verteilungen und Staubfiguren auf Epoxidharzplatten der Kugel-Platte-Anordnung

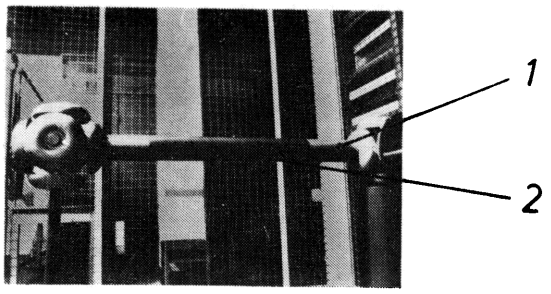
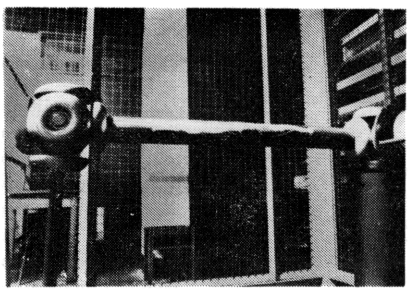
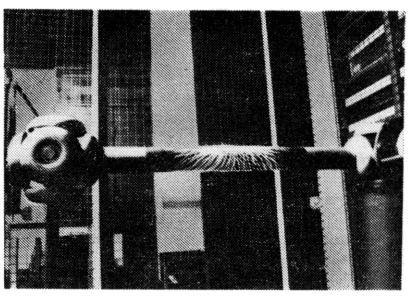


Bild 5. TE an einem mit PETP-Folie beschichteten Metallrohr bei erhöhter Raumladungskonzentration im Labor (U, $\hat{u} = 135$ kV) v.o.n.u.: Wechselspannung, Gleichspannung positive und negative Polarität
1 Metallrohr; 2 PETP-Folie





sie zündeten aber auch im Scheitelbereich der gleichpolaren Halbwellen, also dann, wenn bei OL-freier Isolierstrecke die Feldstärke zwischen den Gleichrichterelektroden gering oder nicht existent ist. Die TE wurden überwiegend am GS-seitigen Ende der Modellgleichrichter lokalisiert.
Die OL-Polarität war der der GS entgegengesetzt, die höchsten OL-Dichten wurden dabei sowohl unterhalb als auch weit oberhalb der Einsetzspannung auf der GS-Seite der Gleichrichteroberfläche gemessen, so daß GS-seitig (OL-bedingt) höhere Feldstärken als WS-seitig anzunehmen sind.
Ausgehend von den Untersuchungen an den Gleichrichtern erfolgte die Ableitung eines Experiments, bei dem ein Metallrohr, um das man einen Streifen hochohmiger PETP-Folie gewickelt hatte, an GS bzw. WS (U, $\hat{u} = 135$ kV) gelegt wurde. Auch an dieser Anordnung traten bei GS TE auf, deren Häufigkeit sowohl mit der Luftfeuchtigkeit als auch mit der Raumladungskonzentration in der umgebenden Luft zunahm (Bild 5). Die Polarität der auf der Folie akkumulierten OL war wie bei den Gleichrichtern invers zur GS.

3. Modellvorstellungen

Die Problematik des TE-Verhaltens von Grenzflächen bei Gleichspannung unter Innenraumbedingungen (keine Betauung oder Fremdschichten) resultiert vor allem aus der Beeinflussung des elektrostatischen Feldes durch OL. Es werden zwei Formen der Oberflächenaufladung mit unterschiedlicher Relevanz für die TE-Zündung unterschieden:

— Interne Aufladung

Die Ladungsträgererzeugung erfolgt durch Ionisationsprozesse, die von der Grenzflächenanordnung ausgehen. An den Orten der höchsten Feldstärke, die bei den üblich stark inhomogenen Anordnungen im Zwickel von Elektrodenkanten und Isolierstoffoberfläche liegen, zünden Mikroentladungen unterhalb der meßbaren TE-Einsetzspannung. Vor den Kanten akkumulieren folglich Oberflächenladungen, durch die die dort existierende Feldstärke gesenkt wird. Bei WS zündende Mikroentladungen führen dagegen zu keiner oder einer weitaus geringeren Aufladung, denn die entstandenen Oberflächenladungen werden in der folgenden Halbwelle wieder weitgehend eliminiert. Trotz Feldstärkereduzierung kann die TE-Einsetzspannung bei GS und MS gegenüber WS verringert werden, wenn die Grenzflächengeometrie sehr stark inhomogen ist. Durch die Feldstärkevergleichmäßigung wird die Ionisierungsstrecke verlängert.
Im allgemeinen sind aber bei dominierend interner Aufladung die TE-Intensitäten relativ gering, da die Zündung nachfolgender Entladungen erst nach Abfließen der durch die TE erzeugten Oberflächenladungen erfolgen kann. Nach einem Polaritätswechsel können aber bereits die durch interne Aufladung entstandenen OL-Verteilungen zur Steigerung der TE-Intensitäten führen.

— Externe Aufladung

Die Ladungsträgererzeugung erfolgt durch Ionisationsprozesse, die nicht von der Grenzflächenanordnung ausgehen.
Bei der externen Aufladung werden die Ladungen infolge der Coulombkraft im Gleichfeld von der externen Ladungsquelle zur Grenzfläche bewegt und dort angelagert. Durch die Ladungsakkumulation wird die Feldstärke zwischen Grenzfläche und Ladungsquelle reduziert und die Feldstärke vor mindestens einer der beiden Elektroden erhöht. Infolge dessen ausgelöste TE neutralisieren die entstandenen OL. Die Neuzündung erfolgt, wenn die zum TE-Einsatz führende OL-Verteilung durch Zufluß extern erzeugter Ladungen wieder regeneriert wurde. Die TE-Intensität nimmt mit der Intensität der externen Ladungsträgererzeugung zu. Als Ladungsquellen können alle Formen von Luftionisationsprozessen wirken, deren Ionen im Bereich des von der Grenzfläche ausgehenden Gleichfeldes entstehen oder in diesen Bereich gelangen. Die externe Aufladung wird um so relevanter, je ausgedehnter die Normalkomponenten der Feldstärke auf der Isolierstoffoberfläche sind (siehe Experimente mit dem Gleichrichter und dem ummantelten Metallrohr).
Infolge erhöhter Luftfeuchtigkeit nimmt die Leitfähigkeit von Staubpartikeln zu, so daß Störstellen entstehen, an denen vorwiegend Mikroentladungen eine Zunahme sowohl der externen als auch der internen Ladungsträgererzeugung bewirken. Im untersuchten Feuchtebereich bis zu maximal $\varphi_r = 90\,\%$ ist bei den verwendeten Isolierstoffen der Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Ladungsträgererzeugung stets ausgeprägter gewesen als der Einfluß auf den Oberflächenwiderstand. Mit der Luftfeuchteerhöhung verbundene höhere Ladungsdichten führen durch vorwiegend externe Aufladung zu den aus Betriebserfahrungen her bekannten, schon bei unipolarer Gleichspannung ohne Polaritätswechsel drastischen Einsetzspannungsabfällen und TE-Intensitätssteigerungen. So kann davon ausgegangen werden, daß die TE-Probleme von Gleichspannungsprüfanlagen insbesondere in der Wirkung der externen Aufladung begründet liegen.
Dabei bezieht sich die geschilderte TE-Phänomenologie ausdrücklich auf fremdschicht- und betauungsfreie, weitgehend saubere Grenzflächen im Neuzustand. Andere Bedingungen (Betauung, Fremdschichten, gealterte Isolierstoffe) lassen durchaus noch größere TE-Probleme erwarten, wobei diesbzgl. die OL-Akkumulation weniger relevant sein dürfte. Wenn dafür gesorgt wird, daß keine Fremdschichten oder Betauungen entstehen, bleiben allerdings die aus den OL resultierenden TE-Phänomene, die immer noch erhebliche Einschränkungen hinsichtlich eines TE-freien Betriebes von GS-Prüfanlagen mit sich bringen, bestehen.

4. Schlußfolgerungen

Die Forderungen nach GS-Prüfanlagen mit spezifiziertem TE-Verhalten ist an die Beherrschung der OL-Akkumulation gebunden. Wie aus den Untersuchungen abgeleitet wurde, lassen sich die Auf-

ladungsprozesse mit vertretbarem Aufwand weder durch eine Unterdrückung der Ladungsträgererzeugung, noch durch die Steuerung der Ladungsträgerbewegung oder durch die Ladungsableitung auf der Grenzfläche zuverlässig beherrschen. Mögliche Verbesserungen sind nur mit komplexen Maßnahmen wie Grenzflächen mit Potentialsteuerungen in Verbindung mit einer vertretbaren Reduzierung des spezifischen Durchgangswiderstandes der Isolierstoffe und geringeren Spannungsbelastungen zu erwarten. Ihre Wirksamkeit hängt aber vom Aufstellungsort der Prüfanlagen, von denen jeweiligen Einsatzbedingungen, dem Parallelbetrieb anderer Prüfanlagen, der Luftfeuchtigkeit und der Konzentration von Staub und Raumladungen ab. Bei einer empfindlichen TE-Messung von GS-belasteten Prüflingen sollten daher zusätzlich meßtechnische Sondermaßnahmen, z.B. Hochspannungssiebkreise mit Sperrinduktivitäten, zum Einsatz kommen.

Literatur

[1] *Frank, H.; Hauschild, W.; Kantelberg, I.; Schwab, H.; Ppiegelberg, J.:* 2-MV-Gleichspannungs-Prüfanlage mit schnellem Polaritätswechsel bis 750 kV. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 10, S.365–367

[2] *Loeb, L. B.:* Static Electrification. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1958

[3] *Hermstein, W.:* Untersuchungen über den Stromfadendurchschlag in Luft. Dissertation, TU Berlin 1959

[4] *Scholz, H.:* Durchschlag und Überschlag innerhalb gasgefüllter Isolierrohre mit inhomogenem Feld. Dissertation, TU Dresden 1967

[5] *Nowacki, K.:* Isolierstoffschirme parallel zur Elektrodenachse. Dissertation, TH Aachen 1975

[6] *Renyu, Z.; Zhicheng, G.:* A study on the differences between the flashover voltages of contaminated insulators under ac and dc voltages. Int. conf. on properties and applications of dielectric materials, Xian 1985, Beitrag K3

[7] *Böcker, H.:* Feuchte- und Temperatureinfluß auf den Überschlag von Stützisolatoren in atmosphärischer Luft bei Gleich-, Wechsel- und Stoßbeanspruchung. ETG-Fachberichte 2 „Dauerverhalten von Isolierstoffen und Isoliersystemen". Baden-Baden 1977, S.180–184

[8] *Link, W. D.:* Überschlag von Stützisolatoren in Luft in Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchte. Dissertation, Universität Stuttgart 1975

[9] *Sato, S.; Zaengl, W. S.; Knecht, A.:* A numerical analysis of accumulated surface charge on dc epoxy resin spacer. IEEE Trans. on EI, Vol. EI-22, 3 (1987)

[10] *Nakanishi, K.; Yoshioka, Y.; Arahata, Y.; Shibuya, Y.:* Surface charging on epoxy spacers at dc stress in compressed SF_6 gas. IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-102, 9 (1983)

[11] *Schmiegel, P.; Lemke, E.:* Charge phenomena on technical boundary surfaces in air by d.c.-stress. Journal of Electrostatics 23 (1989), S.247–256

[12] *Schmiegel, P.:* Die Messung von Oberflächenladungen auf den Isolatorgrenzflächen (russ.). Int. Kolloquium für Hochspannungsprüftechnik, Leningrad 1988, Beitrag III-26

Fortsetzung von Seite 16

[2] *Hauschild, W.; Dietrich, M.; Schufft, W.; Schwab, H.:* Teller-Segmentelektroden für Hochspannungs-Prüfanlagen. ELEKTRIE Berlin 37 (1983) 4, S.189–192

[3] *Dietrich, M.:* Dimensionierung von großflächigen Elektroden für Hochspannungs-Prüfanlagen mit Abgabespannungen im Megavolt-Bereich. Dissertation. Technische Universität Dresden 1983

[4] *Frank, H.:* Wechselspannungs-Prüfanlage 3 MV/12,6 MVA — ein Beitrag zur Höchstspannungs-Energieübertragung. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, S.125 bis 127

[5] *Schumann, W. O.:* Elektrische Durchbruchfeldstärke von Gasen. Berlin: Springer Verlag 1923

[6] *Schumann, W. O.:* Das Minimum der Durchbruchfeldstärke von Kugelelektroden. Archiv für Elektrotechnik 12 (1923) 6/12, S.593–608

[7] *Bürger, W.:* Beitrag zum Entladungsverhalten großflächiger schwach gekrümmter Elektroden in Luft bei großen Schlagweiten. Dissertation. Technische Universität Dresden 1976

[8] *Burgmann, M.:* Vervollkommnung der Öl-Papier-Isolierungen von Prüftransformatoren (russ.). Dissertation. Moskauer Energetisches Institut 1983

[9] *Schufft, W.:* Zur Dimensionierung von Teller-Segmentelektroden für Hochspannungs-Prüfanlagen unter besonderer Berücksichtigung konstruktiv-technologischer Aspekte. Dissertation, Technische Universität Dresden 1989

EA 6079

Einfluß der Luftfeuchte auf den Überschlag von Kunststoff-Innenraumisolierungen mit Oberflächenbeschichtungen

W. Menzel, Dresden; R. Bärsch, Zittau

Verwendete Formelzeichen und Indizes

d	Isolierstoffdicke
k_D, $K_{\ddot{u}}$	Konstanten
m	aufgenommene Wassermenge
$n_{\ddot{u}}$	Lebensdauerexponent
t_L	Lagerungszeit
$t_{\ddot{u}}$	Überschlagzeit
U_{KE}	Kriechspureinsatzspannung
$U_{\ddot{U}}$	Überschlagspannung
$\ddot{u}_K$	Kriechüberschlagstrecke
ϑ	Umgebungstemperatur
φ_r	relative Luftfeuchte

1. Problemstellung

Innenraumisolierungen werden normalerweise für trockene Umgebungsbedingungen bemessen, da Kondensation nur dort zu erwarten ist, wo plötzliche Temperaturwechsel bei hoher Luftfeuchte auftreten [1]. Bei der Auswahl von Isolierwerkstoffen für Innenraumisolierungen werden deshalb meist keine speziellen Klimaprüfungen herangezogen, so daß auch Isolierstoffe mit relativ großem Wasseraufnahmevermögen oder mit geringer Beständigkeit gegenüber Oberflächenteilentladungen zum Einsatz kommen. Typische Beispiele dafür sind Isolierungen aus Hartpapier bzw. Phenolharz-Preßmassen, aus Polyurethan-Hartschaumstoff, aus verschiedenen Thermoplasten oder aus unbeschichteten glasfaserverstärkten Epoxidharzformstoffen. Notwendigerweise ergeben sich daraus Forderungen an die exakte Einhaltung der vom Hersteller spezifizierten Klimabedingungen (z.B. $\varphi_r \leqq 80\,\%$, Vermeidung von Taubelägen u.a.), um Überschläge oder irreversible Alterungserscheinungen an den Isolierstoffoberflächen auszuschließen.

Häufig werden solche Isolierstoffoberflächen nachträglich mit einem oder mehreren Isolierstoffen beschichtet (Lackanstriche, Isolierstoffumhüllungen u.a.), um die Klimabeständigkeit der Isolierungen zu verbessern. Für gesicherte Aussagen über die erweiterten klimatischen Einsatzgrenzen der so entstandenen Verbundisolierungen bedarf es einer möglichst komplexen Bewertung des Isoliervermögens unter kurz- und langzeitiger Feuchtebelastung. Am Beispiel der gut bekannten Hartpapierisolierungen lassen sich die Wirkungen und Grenzen von Isolierstoffbeschichtungen besonders deutlich erkennen.

2. Wirkungsmechanismen der Luftfeuchte

Die Luftfeuchte der Atmosphäre führt bekanntlich zur Ausbildung von molekularen Adsorptionsbelägen, wodurch der Oberflächenleitwert in der Regel um Größenordnungen ansteigt. Ab einer gewissen Stärke des Adsorptionsbelages kommt es örtlich zur Erhöhung der Feldstärke, so daß insbesondere im schwach inhomogenen Grundfeld die Überschlagspannung verringert wird [2]. Die Anlagerung von Wasser infolge Betauung führt im Vergleich zur Adsorption zu einer wesentlich stärkeren Erhöhung des Oberflächenleitwertes und damit zu weiterer Verringerung des Isoliervermögens. Die Fremdschichten bauen außerdem ein Konzentrationsgefälle zwischen der Oberfläche und dem Inneren des Feststoffes auf, in dessen Folge

Dr.-Ing. *Wolfgang Menzel* ist Entwicklungsingenieur im VEB TuR Dresden und Applikant an der TH Zittau; Dr.-Ing. *Roland Bärsch* ist wissenschaftlicher Oberassistent an der TH Zittau, Sektion Elektroenergieversorgung und Anlagenautomatisierung.

Die Autoren danken dem VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden für die Bereitstellung von Prüfkörpern und für die Förderung der Arbeiten.

Bild 1. Spezifische Überschlagspannung zylindrischer Prüfkörper; Parameter: Anstrich

Wasser diffundiert. Die Wasserdiffusion ist im Vergleich zur Anlagerung ein langsamer Prozeß, der durch die Fickschen Diffusionsgesetze beschrieben wird. Als Folgeerscheinung der mit der Diffusion verbundenen Leitfähigkeitserhöhung im Isolierstoff kann bei Spannungsbeanspruchung ein vollständiger oder teilweiser Wärmedurchschlag auftreten, wodurch sich leitfähige Kriechspuren an der Isolierstoffoberfläche bilden können [3]. Fremdschichten auf der Isolierstoffoberfläche führen zu stabilen Oberflächenteilentladungen und damit zur elektrischen Alterung der Isolierstoffoberfläche. Diese Alterung wird beispielsweise durch eine Aufrauhung der Oberfläche sichtbar [4] [5].
Eine wesentliche Aufgabe von Oberflächenbeschichtungen ist es, den genannten Prozessen entgegenzuwirken bzw. das Trägermaterial vor den Auswirkungen zu schützen.

3. Einfluß der relativen Luftfeuchte auf die Überschlagspannung

Es ist bekannt, daß die Überschlagspannung von Isolierungen im schwach inhomogenen Grundfeld oberhalb einer relativen Luftfeuchte im Bereich $\varphi_r \approx 60\,\%$ wegen der beschriebenen Feldstärkeerhöhung sehr stark absinkt [2]. Durch eine Oberflächenbeschichtung von Hartpapier — beispielsweise mit Elektroisolierlackanstrich — gelingt es, Spitzen und Kanten mit der ausgleichenden Beschichtung zu überdecken sowie Kapillaren auszufüllen. Damit wird eine Verringerung der Fremdschichtanlagerung erreicht [6]. Im Ergebnis werden höhere Überschlagspannungen an Hartpapierisolierungen mit Oberflächenbeschichtung gemessen (Bild 1). Die Absolutwerte sind wesentlich davon abhängig, wie gleichmäßig die Oberfläche durch den Anstrich beschaffen ist. So ist die Überschlagspannung ein geeignetes Bewertungskriterium für die Anstriche.

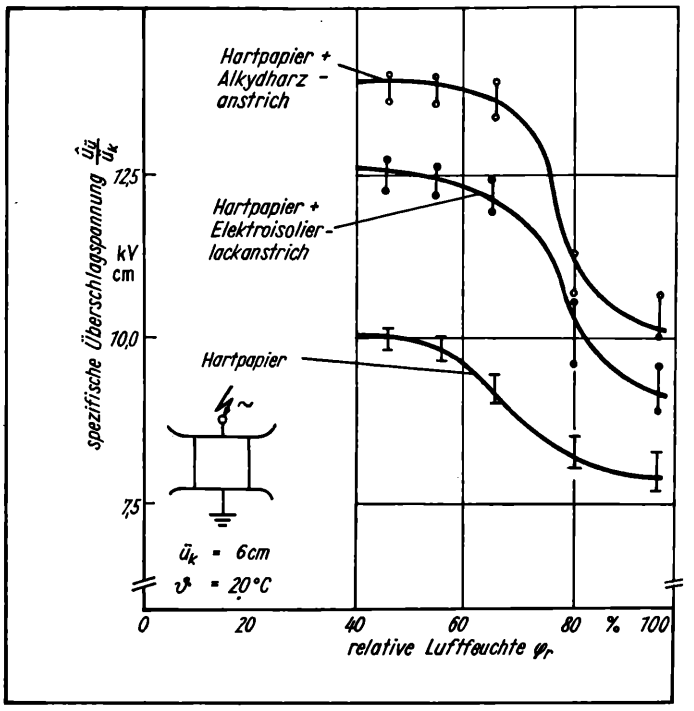
4. Einfluß der Beanspruchungszeit

4.1. Überschlag nach Wasserdiffusion

Bei konstanter Temperatur steigt die aufgenommene Sättigungswassermenge mit der Umgebungsfeuchte an [6] [7].
Die größte Feuchteaufnahme wird bei Wasserlagerung erreicht. Im Vergleich mit anderen Isolierstoffen, z.B. Silikonkautschuk (SIR), hat Hartpapier ein außerordentlich hohes Wasseraufnahmevermögen (Bild 2). Kombiniert man beide Stoffe, so ist eine erhebliche, technisch nutzbare Verzögerung der Feuchteaufnahme des Hartpapiers infolge der SIR-Umhüllung festzustellen. Die Verzögerung ist vom Beschichtungsstoff abhängig und steigt mit der Schichtdicke der Oberflächenbeschichtung. Die Sättigungswassermenge kann jedoch durch die üblichen Oberflächenbeschichtungen nicht verringert werden [7].
Ermittelt man die Überschlagspannung von Modellisolierungen nach Feuchtelagerung im Spannungssteigerungsversuch, so ist ein deutlicher Einfluß der spannungslosen Lagerungszeit t_L zu erkennen (Bild 3). Für kleine Lagerungszeiten wird das Isoliervermögen durch die Überschlagspannung der Isolierung im trockenen Zustand begrenzt. Überschreitet die Wasseraufnahme einen bestimmten Betrag, bei Hartpapier 2,5%, so sinkt die spezifische Überschlagspannung $U_{\ddot{u}}/\ddot{u}_K$ aufgrund des beschriebenen Wirkungsmechanismus ab:

$$U_{\ddot{u}}/\ddot{u}_K = K_D \cdot (t_L)^{-0,5}, \qquad (1)$$

K_D Konstante.
Der Minimalwert $U_{\ddot{u}\,min}/\ddot{u}_K$ stellt sich bei Feuchtesättigung ein und ist damit vom Isolierstoff und Lagerungsklima abhängig. Für Hartpapier wird beispielsweise nach Wasserlagerung ein Wert $U_{\ddot{u}min}/\ddot{u}_K \approx 0{,}3$ kV/cm gemessen (Bild 3, Kurve 1). Erfolgt die Lagerung bei hoher Luftfeuchte (Bild 3, Kurve 2), sinkt die spezifische Überschlagspannung erst nach vergleichsweise größerer Lagerungszeit ab, weil für die gleiche Wasseraufnahme eine größere Zeit benötigt wird. Da die Sättigungswassermenge kleiner ist, ergibt sich auch ein größerer Minimalwert $U_{\ddot{u}\,min}/\ddot{u}_K$. Die Kriechspureinsatzspannung U_{KE} liegt dabei noch deutlich unterhalb der Kriechspurüberschlagspannung $U_{\ddot{u}}$, wie die Untersuchungen mit einer stark inhomogenen Elektrodenanordnung zeigen (Bild 3, Kurve 3). Da Oberflächenbeschichtungen die Feuchteaufnahme verzögern, kann die Zeit bis zum Absinken der spezifischen Überschlagspannung infolge Wasserdiffusion technisch nutzbar vergrößert werden (Bild 3, Kurven 4, 5).



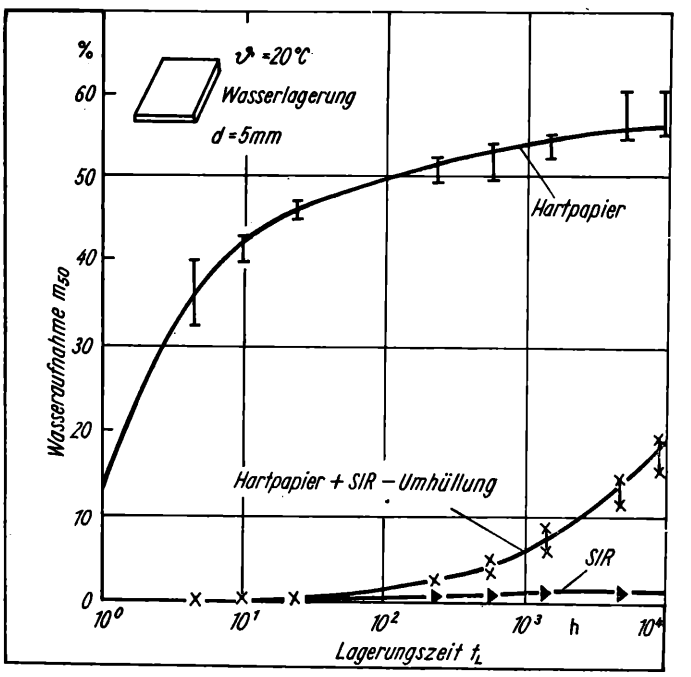
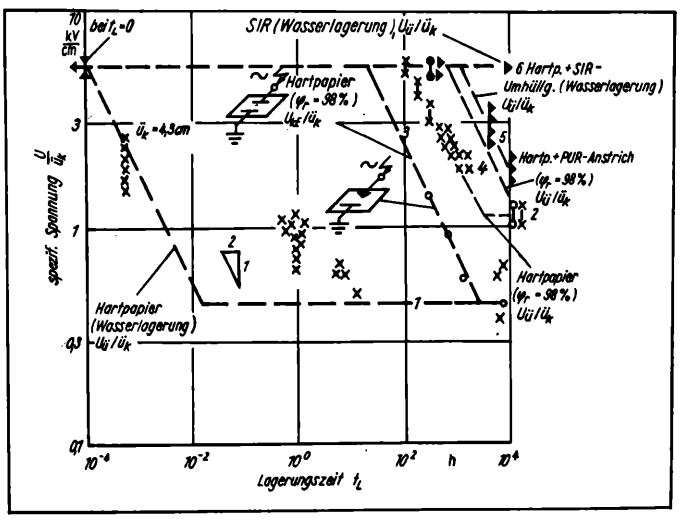


Bild 2. Wasseraufnahme abhängig von der Lagerungszeit; Parameter: Isolierstoff bzw. Isolierstoffumhüllung

Bild 3. Spezifische Überschlagspannung ($U_{\ddot{u}}/\ddot{u}_K$) bzw. spezifische Kriechspureinsatzspannung ($U_{KE}/\ddot{u}_K$) abhängig von der Lagerungszeit; Parameter: Isolierstoff, Oberflächenbeschichtung, Lagerungsfeuchte



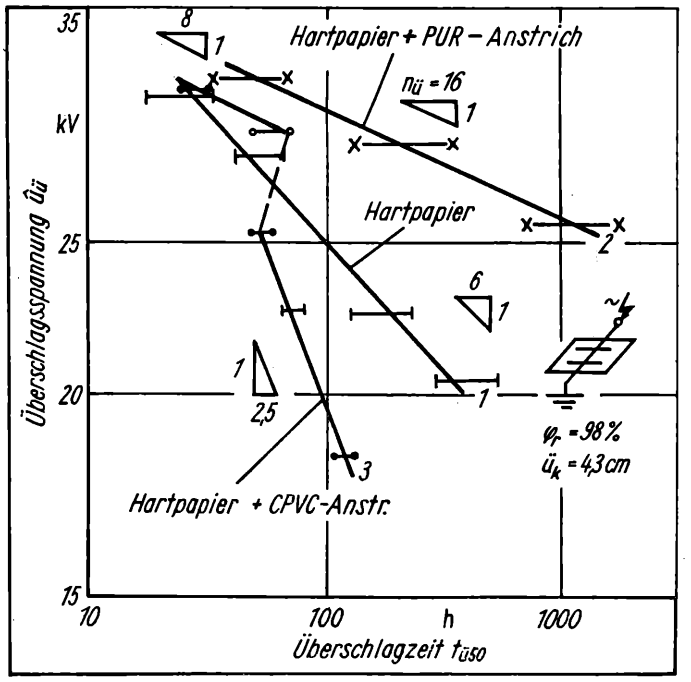


Bild 4. Lebensdauerkennlinien für den Überschlag bei hoher relativer Luftfeuchte; Parameter: Anstrich

Der Minimalwert $U_{\ddot{u}\,min}/\ddot{u}_K$ wird davon jedoch nicht beeinflußt, da das Trägermaterial den Prozeß bestimmt. Für SIR ist bis zu einer Lagerungszeit von 10^4 h keine Senkung der spezifischen Überschlagspannung festgestellt worden (Bild 3, Kurve 6).

4.2. Überschlag nach elektrischer Alterung durch Oberflächenteilentladungen

Es ist bekannt, daß bei der Spannungsbeanspruchung von Isolierstoffoberflächen mit Taubelag elektrische Alterung auftritt. Es kommt zu Überschlägen nach vorangegangener Erosion bzw. Kriechspurbildung. Der Zusammenhang zwischen Überschlagwechselspannung $\hat{U}_{\ddot{u}}$ und der Überschlagzeit $t_{\ddot{u}}$ kann durch eine Wurzelfunktion — die Lebensdauerbeziehung — approximiert werden [8]:

$$U_{\ddot{u}} = k_{\ddot{u}} \cdot (t_{\ddot{u}})^{-1/n_{\ddot{u}}}. \qquad (2)$$

$K_{\ddot{u}}$ Konstante, $n_{\ddot{u}}$ Lebensdauerexponent.

Interessanterweise wird auch unter den Bedingungen hoher relativer Luftfeuchte prinzipiell ein Zusammenhang wie bei Taubelag gemessen. Demzufolge tritt bereits, ohne daß ein sichtbarer Feuchtebelag vorhanden ist, elektrische Alterung auf. An Hartpapieroberflächen erfolgt der Überschlag auch bei hohen relativen Luftfeuchten nach vorangegangener Kriechspurbildung (Bild 4, Kurve 1). Die Konstante $k_{\ddot{u}}$ und der Lebensdauerexponent sind jedoch erwartungsgemäß größer als bei Betauung [7]. Durch Oberflächenbeschichtungen ist eine Erhöhung der Lebensdauer erreichbar, wenn dadurch der Prozeß der Kriechspurbildung vermieden wird. Unter den Bedingungen hoher Luftfeuchte ist das durch gebräuchliche Anstriche, z.B. PUR-Anstrich (Bild 4, Kurve 2) zu erreichen. Es gibt jedoch auch Anstriche, die selbst die Lebensdauer von Hartpapierisolierungen noch verkürzen, z.B. CPVC-Anstrich (Bild 4, Kurve 3). Bei Betauung der Hartpapierisolierungen ist eine ausreichende Lebensdauer in der Regel nur durch eine Isolierstoffumhüllung, z.B. mit einem Elastomer, zu erreichen.

5. Schlußfolgerungen für den Einsatz von Isolierungen mit Oberflächenbeschichtungen und zur Auswahl der Oberflächenbeschichtung

Wie die Untersuchungen an beschichteten Hartpapierisolierungen gezeigt haben, verzögern Oberflächenbeschichtungen die Feuchteaufnahme und erhöhen die Beständigkeit gegenüber Oberflächenteilentladungen. Es ist zu schlußfolgern, daß eine zeitweise Erhöhung der Feuchtebelastung zugelassen werden kann, ohne daß mit intensiver Alterung oder Überschlägen zu rechnen ist. Bei langzeitiger, ununterbrochener Feuchtebelastung bestimmt jedoch letztlich das Trägermaterial das Isoliervermögen. Für die Festlegung der konkreten Einsatzgrenzen erweist sich die Klassifizierung der klimatischen Umgebungsbedingungen in Klima- bzw. Einsatzbereiche als zweckmäßig, d.h. die Unterteilung in normale spezifizierte Bedingungen und erschwerte Bedingungen mit unterschiedlichem Schweregrad beispielsweise bis zum zeitweiligen Freiluftseinsatz. Das liegt im gleichen Sinne wie die vom Technischen Komitee 17c der IEC definierten Schwierigkeitsgrade der Betriebsbedingungen von gekapselten Mittelspannungsschaltanlagen [9]. Ein typischer Anwendungsfall für Hartpapierisolierungen mit Oberflächenbeschichtungen sind Hochspannungsprüfanlagen. Durch die Festlegung von Klimabereichen und die Zuordnung von notwendigen Einschränkungen bzw. Maßnahmen konnten die Einsatzgrenzen erweitert und die Handlungssicherheit des Betreibers erhöht werden [10].

Für den Nachweis der Eignung von Oberflächenbeschichtungen bzw. Verbundisolierungen für diese Einsatzfälle existiert kein verbindliches Prüfverfahren. Ausgehend von den bisherigen Erfahrungen empfiehlt sich eine komplexe Bewertung, wobei zunächst eine Vorauswahl durch Materialprüfungen erfolgt. Dazu zählen der Nachweis der Haftung der Oberflächenbeschichtung auf dem Trägermaterial, die Messung der Wasseraufnahme des Trägermaterials mit und ohne Oberflächenbeschichtung, die Nachweise des Isoliervermögens nach Wasseraufnahme und der Beständigkeit gegenüber Oberflächenteilentladungen. Anschließend wird die Prüfung der Verbundisolierung empfohlen. Dazu wird die Überschlagzeit bei definierter Spannungsbeanspruchung unter den realen Grenzflächenbelastungen ermittelt. Die Entscheidung, ob die Oberflächenbeschichtung geeignet ist, sollte auf der Basis derartiger komplexer Bewertungen getroffen werden.

Literatur

[1] TGL 43390 Hochspannungsschaltgeräte und typgeprüfte Schaltanlagen; Gemeinsame technische Bestimmungen. Ausgabe 9.87

[2] *Link, W. P.:* Überschlag von Stützisolierungen in Luft in Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchte. Dissertation, TH Stuttgart 1974

[3] *Näcke, H.:* Lichtbogenfestigkeit und Kriechstromfestigkeit von Isolierstoffen. Dissertation, TU Berlin (West) 1962

[4] *Bärsch, R.; Pilling, J.:* Zur elektrischen Alterung und zum Überschlag an Kunststoffisolator-Oberflächen mit elektrolytisch-leitfähigen Fremdschichten. Wiss. Berichte THZ 903- (1988), S.36–41

[5] *Menzel, W.*, u.a.: Zur Bewertung der Teilentladungsbeständigkeit von Kunststoffisolator-Oberflächen. ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 6, S.210–212

[6] *Menzel, W.:* Zur Klimabeständigkeit von Kunststoff-Innenraumisolierungen mit Oberflächenbeschichtungen. Dissertation, TH Zittau 1989

[7] *Menzel, W.; Bärsch, R.:* Zur Klimabeständigkeit von Innenraumisolierungen mit Oberflächenbeschichtungen. 11. Wiss. Konferenz der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden 1987, Konferenzband H, S.8–10

[8] *Bärsch, R.:* Ein Beitrag zur Bemessung und Prüfung von Innenraumisolierungen mit Taubelag. Dissertation, TU Dresden 1978

[9] IEC-Bericht 932 (1. Ausgabe 1988) Additional requirements for enclosed switchgear and controlgear from 1 kV to 72,5 kV to be used in severe climatic conditions

[10] *Bärsch, R.; Menzel, W.:* Hinweise bei zeitweisem Einsatz von Innenraum-Hochspannungsprüfanlagen mit Hartpapierisolierungen bei unspezifiziert hoher Umgebungsfeuchte. Informationsschrift des VEB Transformatoren- und Röntgenwerkes Dresden 1989

EA 6082

Neue Gerätegeneration für das Hochspannungs-Praktikum

E. Engelmann, KDT, Radebeul; A. Pollach, Dresden

Mitteilung aus dem VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden und dem Methodisch-diagnostischem Zentrum Hochspannungstechnik der TU Dresden

Der VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" (TuR) liefert als Generallieferant für komplette Hochspannungs-Prüffelder und -Labore auch Hochspannungslaboratorien für Lehre und Forschung. Für das Institut Elektrotechnik Bejaia (Algerien) befindet sich z. Z. ein Hochspannungslaboratorium, bestehend aus einer Hochspannungshalle und mehreren Kleinlabors, in der Realisierungsphase.

In der Ausbildung auf dem Gebiet der Hochspannungstechnik sind praktische Übungen, d. h. Experimente mit hohen Spannungen, von großer Bedeutung. Das vom VEB TuR „Hermann Matern" lieferbare Hochspannungspraktikum basiert auf den jahrzehntelangen Ausbildungserfahrungen des Hochspannungslaboratoriums an der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden. Die Ausbildungsschwerpunkte

— Aufbau und Wirkungsweise der Hochspannungs-Prüfanlagen
— Meßtechnische Probleme der Hochspannungstechnik
— Elektrisches Verhalten von Isolierstoffen und Isolierungen

sind mit 10 Versuchen verknüpft.

Zur Durchführung sind neben den herkömmlichen Hochspannungs-Prüfanlagen eine Vielzahl spezieller Geräte und Ausrüstungen (z. B. Modellanordnungen) nötig. Die Schaltungen der wichtigsten Hochspannungs-Prüfanlagen zur Erzeugung hoher Gleich-, Wechsel- und Impulsspannungen werden an Hand von Niederspannungsmodellen demonstriert und verschiedene Methoden der Messung mit einer Meßeinrichtung realisiert.

Dazu ist an der TU Dresden, basierend auf den praktischen Erfahrungen und theoretischen Erkenntnissen, eine neue Gerätegeneration entwickelt worden.

Die Niederspannungsmodelle sind generell als EGS-Einschub, Systemmaße 480 mm × 160 mm × 300 mm, aufgebaut. Sie genügen der Schutzklasse I (Schutzerdung) und haben den Schutzgrad IP 20. Als Betriebsspannung dienen 220 V Wechselspannung. Sämtliche Modelle sind robust gestaltet und zeichnen sich durch einfache Bedienung und Wartungsfreiheit aus.

1. Impulsspannungsgenerator IGU 1

Mit dem Impulsspannungsgenerator IGU 1 (Bild 1) können Niederspannungs- Blitz- und Schaltspannungsimpulse mit stufenweise variierbaren Zeitparametern und stetig einstellbarer Amplitude erzeugt werden. Die Impulsfolgefrequenz von 50 Hz läßt die Darstellung der Impulse auch auf einfachen Elektronenstrahloszillografen zu.

Der Impulsspannungsgenerator IGU 1 dient der Demonstration der Arbeitsweise einstufiger Generatoren. Mit ihm kann der Einfluß der Generator- und Prüfkreiselemente auf die Stirn- bzw. Scheitel- und die Rückenhalbwertzeit der Impulse und auf den Ausnutzungsgrad des Generators untersucht werden. Außerdem ist der Generator dort einsetzbar, wo Niederspannungsimpulse geringer Energie benötigt werden. Die Elemente des Impulskreises, die die Impulsparameter bestimmen, sind über die vorhandenen Umschaltmöglichkeiten hinaus austauschbar und so an die jeweiligen Einsatzfälle anpaßbar.

Ausgangsdaten der Impulsspannung:

— Scheitelwert	50 bis 225 V
— Stirn-/Scheitelzeit	1,2 bis 1500 µs
— Rückenhalbwertzeit	50 bis 4000 µs
— Impulsenergie	30 mJ
— Polarität	positiv

Die Triggerspannung (positive Polarität) hat eine Amplitude von 5 V und eine einstellbare Verzögerung von 3 bis 3000 µs.

Alle interessierenden Potentiale (Spannung über Impulskondensator, Entladewiderstand und Belastungskondensator) sind über die auf der Frontplatte montierten HF-Steckdosen meßbar. Die Spannungsverläufe können unter Beachtung der maximalen Eingangsspannung des Oszillographen oder Transientenrecorders und bei entsprechender Wahl der Impulsamplitude direkt aufgezeichnet werden.

2. Gleichspannungsgenerator GGU 2

Der Gleichspannungsgenerator GGU 2 (Bild 2) dient der Erzeugung von Gleichspannung mit Hilfe ausgewählter Schaltungen. Es können eine

— Einweg-Gleichrichterschaltung
— Villard-Schaltung
— einstufige Greinacher-Verdopplerschaltung und eine
— 5stufige Greinacher-Kaskadenschaltung

aufgebaut werden.

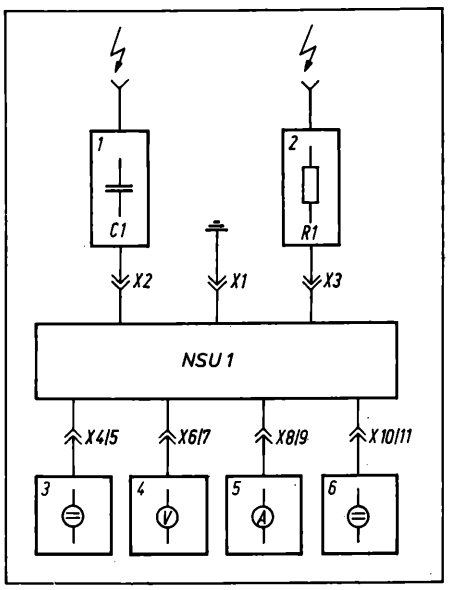


Bild 3
Anschlußschema der Spannungsmeßeinrichtung NSU 1
1 Hochspannungskondensator 100 pF/100 kV (z. B. CO1/TuR-HSBS); *2* Hochspannungswiderstand 250 MΩ/100 kV (z. B. MR 135/TuR-HSBS); *3, 6* elektrostatischer Spannungsmesser 600 V; *4* Drehspul-Spannungsmesser 600 V; *5* Strommesser 3 mA/300 µA

Dr.-Ing. *Eberhard Engelmann* ist wissenschaftlicher Oberassistent im Wissenschaftsbereich Hochspannungstechnik der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden und Laborleiter des Methodisch-diagnostischen Zentrums Hochspannungstechnik der TU Dresden; Dipl.-Ing. *Andreas Pollack* ist Objektingenieur im Direktionsbereich Generallieferant des VEB TuR „Hermann Matern" Dresden.

Bild 1. Impulsspannungsgenerator IGU 1

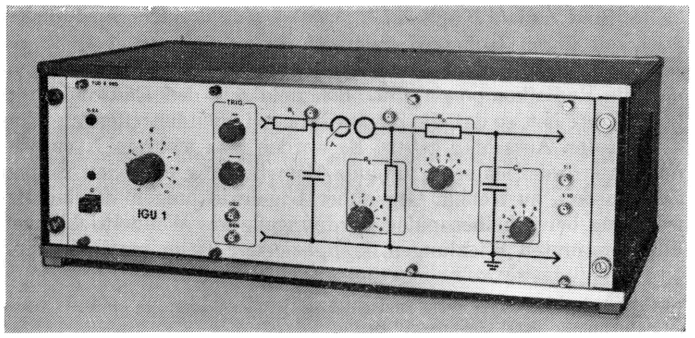
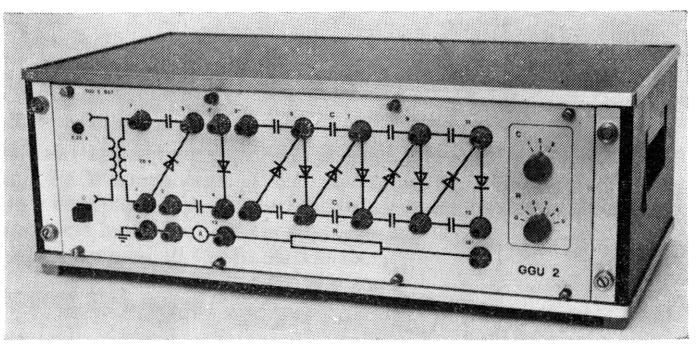


Bild 2. Gleichspannungsgenerator GGU 2



Der Gleichspannungsgenerator GGU 2 ist vorzugsweise zur Demonstration und Untersuchung der Arbeitsweise der genannten Gleichrichterschaltungen im Leerlauf und bei Belastung vorgesehen. Sämtliche Knotenpunkte sind auf der Frontplatte zugänglich, so daß die Potentialverläufe an beliebigen Punkten der Schaltung, z. B. mit Elektronenstrahloszillografen oder Transientenrecordern, aufgezeichnet werden können. Zur Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher ohmscher Belastungen auf die Ausgangsspannung ist es möglich, neben dem Belastungswiderstand auch die Glättungs- und Verdopplerkondensatoren umzuschalten. Durch eine zwangsläufig wirkende Entladeeinrichtung kann auch bei höheren Spannungen gefahrlos experimentiert werden.

3. Spannungsmeßeinrichtung NSU 1

Zur Demonstration und Untersuchung verschiedener Methoden der Messung hoher Gleich- und Wechselspannungen wurde die Spannungsmeßeinrichtung NSU 1 entwickelt. Sie ermöglicht

- — Messungen mit ohmschem und mit kapazitivem Spannungsteiler
- — Messungen mit ohmscher und mit kapazitiver Reihenimpedanz
- — Messungen mit elektrostatischem Spannungsmesser und mit Drehspulinstrument
- — Scheitelwertmessungen mit und ohne Ausgleichzweig
- — Untersuchungen zum Einfluß der Meßkabellänge auf das Übersetzungsverhältnis der Spannungsteiler.

Die Einrichtung dient sowohl dem Kennenlernen unterschiedlicher Möglichkeiten zur Mittel-, Effektiv- und Scheitelwertmessung hoher Spannungen als auch dem Studium der dabei möglichen Meßfehler und deren Ursachen. Sie wurde als universelle Schnittstelle zwischen Hoch- und Niederspannungskreis speziell für die Ausbildung im Fach Hochspannungstechnik entwickelt (Bild 3) und ermöglicht nicht nur den gleichzeitigen Anschluß mehrerer Meßmittel, sondern auch die gefahrlose schnelle Umschaltung zwischen verschiedenen Meßkreisen mit Leuchtdrucktastern.

4. Polarisationsmeßeinrichtung NSP 2

Die Polarisationsmeßeinrichtung NSP 2 ermöglicht die Untersuchung der Gleichstromleitungsprozesse, insbesondere deren transienter Komponenten, in festen Isolierstoffen. Die Auflade-, Entlade- und Nachwirkungseffekte können an der dazugehörigen Modell-Kabelisolierung mit einfachen Meßmitteln im Kurzzeitbereich (Sekunden, Minuten) erfaßt und demonstriert werden.
Die Polarisationsmeßeinrichtung hat eine stabilisierte Meßspannungsquelle, einen Aufladestromkreis, einen Entladestromkreis und einen Kurzschlußkreis zur Demonstration des Nachwirkungseffektes bei kurzzeitigem Kurzschluß des aufgeladenen Dielektrikums sowie Anschlußmöglichkeiten für einen empfindlichen Strommesser (z. B. Mikroamperemeter) und einen Spannungsmesser mit großem Innenwiderstand (z. B. elektrostatischer Spannungsmesser). Die aktivierten Schaltzustände werden durch Lumineszensdioden angezeigt.

EA 6077

Zur Heißpunktbestimmung in großen Transformatorenspulen

G. Lobenstein, KDT, Berlin

Mitteilung aus dem VEB Transformatorenwerk Karl Liebknecht

Verwendete Formelzeichen und Symbole

A	Wickelhöhe
B	Scheibenbreite
c_p	spez. Wärmekapazität
d	Axialkanalbreite
dgl	gleichwertiger Durchmesser
h	Radialkanalhöhe
L	Spulenlänge
P	Verlustleistung
q	Wärmestromdichte
V	Ölvolumen
v	Ölgeschwindigkeit
α	Wärmeübergangs-Koeffizient
β	Raum-Ausdehnungszahl
Δt	Temperaturdifferenz
λ	Wärmeleitfähigkeit
η	dynamische Viskosität
ν	kinematische Viskosität
ϱ	Dichte

$$\mathrm{Gr}^* = \frac{g L^4 \beta q}{\nu^2 \lambda} = \text{Grashof-Zahl}$$

$$\mathrm{Nu} = \frac{\alpha l}{\lambda} = \text{Nußelt-Zahl}$$

$$\mathrm{Pr} = \frac{\nu c_p \varrho}{\lambda} = \text{Prandtl-Zahl}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{v\,\mathrm{dgl}}{\nu} = \text{Reynolds-Zahl}$$

Die zu erwartende Lebensdauer eines Transformators hängt vom Zustand seiner organischen Isolierstoffe ab. Der Grad der thermischen Alterungsgeschwindigkeit wird von der heißesten Stelle des Kupferleiters, als dem schwächsten Glied der Kette, bestimmt. Da der Heißpunkt bei der Typenprüfung durch Widerstandsmessungen nicht zu ermitteln ist, sind weltweit Anstrengungen gemacht worden, ein Meßgerät zu entwickeln, das die Messung des Heißpunktes unmittelbar ermöglicht. Obwohl gegenwärtig schon derartige Hotspot-Meßeinrichtungen zur Verfügung stehen, bleibt es weiterhin problematisch, die Sensoren an der richtigen Stelle anzubringen. Besonders bei großen Einheiten, aufwärts 100 MVA, wird die Vorausbestimmung von Ort und Höhe des Heißpunktes mit zunehmender Einheitsgröße immer schwieriger. Die meisten in der Literatur angegebenen Berechnungsverfahren ermöglichen es, nur eine mittlere Spulenerwärmung vorauszuberechnen und den Heißpunkt pauschal abzuschätzen [1] [2]. Um aber Ort und Höhe des Heißpunktes festzustellen, ist es notwendig, nicht nur die mittlere Erwärmung der Transformatorenspule zu berechnen, sondern auch die höchste Erwärmung an den fraglichen Stellen zu bestimmen. So kann der heißeste Punkt z. B. im oberen Teil der Spule liegen, insbesondere wenn die Isolierung der Eingangswindungen verstärkt ist. Bei Spulen mit Mittenausleitung liegen diese Windungen in der Mitte. Sind radiale Kühlkanäle aus Gründen der Hochspannungsfestigkeit durch Isolierzwischenlagen reduziert oder einseitig geschlossen, kann sich der Heißpunkt hier befinden. Möglich ist auch, daß die Radialkomponente des Streufeldes in den Endwindungen hohe Werte hat, so daß die Zusatzverluste in den betreffenden Windungen den Ausschlag geben. Es werden also mehrere Nachrechnungen erforderlich sein, um eine Entscheidung über den Einbau der Sensoren zu treffen. Gegenüber Lagenwicklungen ist eine Berechnung bei Scheibenspulenanordnungen, wie Wendelwicklungen und verstürzten Wicklungen, komplizierter, da an vertikalen und

Ing. *Günter Lobenstein* ist Sachgebietsleiter für Erwärmungsfragen im VEB Transformatorenwerk „Karl Liebknecht" Berlin.

horizontalen Flächen unterschiedliche Wärmeübertragungskoeffizienten auftreten. In dieser Arbeit werden deshalb nur Scheibenspulenanordnungen behandelt.

1. Meßverfahren und Versuchsaufbau

Ziel der vorliegenden Versuche war es, die Wärmeübertragungskoeffizienten an den radialen und axialen Kühlkanälen getrennt zu bestimmen und dabei den Einfluß der Geometrie der Kühlkanäle festzustellen. Damit schieden normale Rundspulen als Versuchsobjekte bereits aus, da bei ihnen die Abmessungen festliegen und nur wenig veränderbar sind. Außerdem ist es nicht möglich, an derartigen Spulen die Dimensionierung der Kanalweiten, der Isolierdicke, der Aufbauchung der Isolierung u.dgl. mit der Präzision zu bestimmen, wie es derartige Grundsatzuntersuchungen erfordern. Die Messungen wurden deshalb an ebenen Modellen durchgeführt, die einen Ausschnitt aus der Spule darstellen, wie ja auch bei der Rundspule durch Distanzleisten ähnliche Abschnitte gebildet werden. Schließlich erwies sich der Aufbau der Modelle aus massiven isolierten Kupferleitern als überflüssig, da sich die Temperaturverteilung im Innern der Scheibe nach Kenntnis der einzelnen Wärmeleitvermögen mit geeigneten Programmen leicht errechnen läßt. Für die Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten wurde also nur die Oberfläche der Spulenscheibe benötigt. Die einzelnen Scheiben der Spulennachbildung wurden deshalb aus Hartholz gefertigt und mit Kupferfolie belegt. Elektrisch wurden die Folien in Reihe geschaltet und mit Gleichstrom beheizt. Zweckmäßig verteilte Spannungsabgriffe ermöglichten bei den bis zu 2 m langen Modellen jederzeit, an den verschiedenen Orten die Flächenbelastungen und die Temperaturen zu bestimmen. Innerhalb einer Scheibe war die Folie ähnlich wie bei gedruckten Schaltungen so aufgeteilt, daß horizontale und vertikale Flächen getrennt gemessen werden konnten.

2. Berechnung des Heißpunktes

Von ihrer mittleren Erwärmung aus gesehen, befindet sich innerhalb jeder Spulenscheibe ein Heißpunkt, der über dieser mittleren Erwärmung liegt. Den höchsten Betrag hat dieser Heißpunkt in derjenigen Scheibe, deren Mittelwert der größte ist. Man muß deshalb bei der Berechnung in einen axialen und einen radialen Temperaturanstieg aufspalten. Der radiale Anstieg innerhalb der Spulenscheibe kann mit Hilfe eines Wärmequellennetzes oder Wärmebilanzen um die einzelnen Leiter bei Kenntnis der Wärmeübergänge berechnet werden.

2.1. OF-Kühlung

Für den Wärmeübergang bei OF-Kühlung ergab sich:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\alpha L}{\lambda} = C\,(\mathrm{Gr}^* \cdot \mathrm{Pr})^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mathrm{Pr_{fl}}}{\mathrm{Pr_0}}\right)^{\frac{1}{4}} k_1 \cdot k_2 \qquad (1)$$

oder explizit:

$$\alpha = C \left(\frac{g\,\beta\,\lambda^2\,\mathrm{Pr}}{\nu^2}\right)^{\frac{1}{3}} L^{\frac{1}{3}} \cdot q^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mathrm{Pr_{fl}}}{\mathrm{Pr_0}}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot k_1 \cdot k_2. \qquad (2)$$

Es wurde hier die modifizierte Gr-Zahl eingesetzt mit:

$$\mathrm{Gr}^* = \frac{g\,L^4\,\beta\,q}{\nu^2\,\lambda},$$

indem $\Delta\Theta$ durch $\frac{q\,L}{\lambda}$ substituiert wird [3].

Das ist immer dann vorteilhaft, wenn, wie auch im vorliegenden Fall, nicht die Temperaturdifferenz $\Delta\Theta$, sondern die Flächenbelastung q bekannt ist. Die Konstante C beträgt:

$C = 5{,}89 \cdot 10^{-3}$ für horizontale Flächen,

$C = 8 \cdot 10^{-3}$ für vertikale Flächen.

Für die Breite der Radial- und Axialkanäle gibt es ein Optimum, das zu überschreiten nicht sinnvoll ist, da sich hierdurch der Wärmeübergang nicht verbessern läßt. Das Optimum ist erreicht, wenn

$$\frac{h}{A} \geqq 0{,}1 \qquad \text{für Radialkanäle,} \qquad (3)$$

$$\frac{\Sigma d}{\Sigma A} \geqq 0{,}35 \qquad \text{für Axialkanäle.} \qquad (4)$$

Bild 1
OF-Kühlung
A Wickelhöhe; *B* Scheibenbreite; *h* Radialkanal; *d* Axialkanal; *L* Spulenlänge

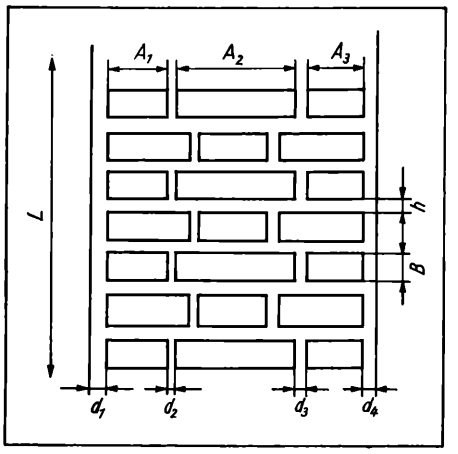
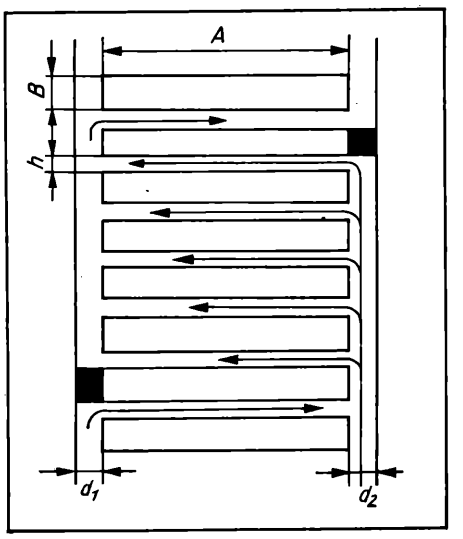


Bild 2
OD-Kühlung



Werden diese Werte überschritten, bleiben die Korrekturfaktoren k_1 und $k_2 = 1$. Die Bezeichnungen für die Abmessungen sind aus Bild 1 ersichtlich.

Die Potenzfunktion für den Wärmeübergang ist in den Grenzen $2 \cdot 10^{14} < \mathrm{Gr}^* \cdot \mathrm{Pr} < 1{,}5 \cdot 10^{16}$ belegt, die Stoffwerte sind auf die mittlere Grenzschichttemperatur bezogen, nur die Prandtl-Zahl $\mathrm{Pr_0}$ auf die Oberflächentemperatur. Bei der Bestimmung des radialen Anstiegs mit den angegebenen Wärmeübergängen erscheint der Heißpunkt in der Mitte der Scheibe. Infolge der sich einstellenden Querströmung des Öls im Horizontalkanal ist der Heißpunkt in Wahrheit aus der Mitte zu einem der Axialkanäle hin verschoben [4]. Zu welcher Seite, ist im voraus schwer zu bestimmen. Einige Schwierigkeiten ergaben sich, eine Systematik für den axialen Temperaturanstieg zu finden. Das scheint in dem durch Zufälligkeiten eingeleiteten Querströmungen des Öls in den Horizontalkanälen begründet zu sein, die innerhalb einer Spule mitunter alle eine Richtung oder auch unterschiedliche Richtung haben können. Ein Kollektiv von über 100 Einzelmessungen ergab für das Verhältnis axialer Anstieg zu mittlerer Kupfer- über Ölerwärmung in der Auswertung eine Normalverteilung mit einem wahrscheinlichen Mittelwert des axialen Anstiegs von $14 \pm 0{,}6\,\%$ der Kupfer- über Ölerwärmung. Die Verteilung war regulär, d.h. der Höchstwert des Temperaturanstiegs ist von zahlreichen Einzeleinflüssen abhängig, die mit gleicher Wahrscheinlichkeit eine Vergrößerung oder Verkleinerung bewirken. Der Mittelwert bezieht sich auf Messungen mit optimalen Kanälen, sowohl axial als auch radial. Sind die Kanäle nicht optimiert, so muß der Mittelwert mit $\frac{1}{k_1}$ bzw. $\frac{1}{k_2}$ multipliziert werden.

2.2. OD-Kühlung

Bei der OD-Kühlung wurden in gleicher Weise wie bei der OF-Kühlung die Wärmeübergangskoeffizienten an horizontalen und vertikalen Flächen getrennt ermittelt. In der Fachliteratur werden auch hier meist nur Summenformeln angegeben [1] [2].

Die Messung ergab für Radialkanäle

$$\mathrm{Nu} = \frac{\alpha \cdot \mathrm{dgl}}{\lambda} = 0{,}738 \left(\frac{\mathrm{Re} \cdot \mathrm{Pr} \cdot \mathrm{dgl}}{A}\right)^{0{,}42} \left(\frac{\eta_{fl}}{\eta_0}\right)^{0{,}14} \qquad (5)$$

belegt im Bereich $10^2 < \frac{\mathrm{Re} \cdot \mathrm{Pr} \cdot \mathrm{dgl}}{A} < 4 \cdot 10^3$ mit $\mathrm{Re} = \frac{v \cdot \mathrm{dgl}}{\nu}$

oder explizit

$$\alpha = 0{,}738 \cdot \lambda \cdot \nu^{-0{,}42} A^{-0{,}42} V^{0{,}42} \mathrm{dgl}^{-0{,}16} \mathrm{Pr}^{0{,}42} \left(\frac{\eta_{\mathrm{fl}}}{\eta_0}\right)^{0{,}14}. \quad (6)$$

Für Axialkanäle gilt

$$\mathrm{Nu} = \frac{\alpha \cdot \mathrm{dgl}}{\lambda} = 6{,}46 \cdot 10^{-2} (\mathrm{Re} \cdot \mathrm{Pr})^{0{,}6} \left(\frac{\mathrm{dgl}}{B}\right)^{-1{,}2} \left(\frac{\eta_{\mathrm{fl}}}{\eta_0}\right)^{0{,}14} \quad (7)$$

belegt im Bereich $3 \cdot 10^4 < \mathrm{Re} \cdot \mathrm{Pr} < 3 \cdot 10^5$

oder explizit

$$\alpha = 6{,}46 \cdot 10^{-2} \cdot \lambda \cdot \nu^{0{,}6} \mathrm{Pr}^{0{,}6} \mathrm{dgl}^{-1{,}6} V^{0{,}6} B^{1{,}2} \left(\frac{\eta_{\mathrm{fl}}}{\eta_0}\right)^{0{,}14}. \quad (8)$$

Die Stoffwerte werden auf die mittlere Flüssigkeitstemperatur bezogen, nur die dynamische Zähigkeit η_0 auf die Oberflächentemperatur der Wicklung.

Zur Berechnung des Heißpunktes innerhalb einer Spulenscheibe muß erst die Scheibe ermittelt werden, bei der die Ölgeschwindigkeit am geringsten ist.

Wie im Bild 2 durch die Länge der Pfeile angedeutet ist, sind aufgrund der Umlenkverluste in Verzweigungen bei Sammler- und Verteilerströmung die Geschwindigkeiten in den Radialkanälen recht unterschiedlich [5]. Durch eine zweckmäßige Aufteilung in Sektionen und entsprechende Kanaldimensionierung lassen sich diese Unterschiede jedoch in Grenzen halten. Die Verschiebung des Heißpunktes aus der Mitte heraus zum Sammelkanal läßt sich hier mit einer Wärmebilanz leicht ermitteln.

Der axiale Anstieg im Öl kann ebenfalls aus der Verlustleistung P der Spule und dem Volumen V des Öls errechnet werden:

$$\Delta t = \frac{P}{\varrho \cdot c_{\mathrm{p}} \cdot V}. \quad (9)$$

3. Zusammenfassung

Der Heißpunkt in der Wicklung eines Transformators ist für die Lebensdauer des Gerätes von außerordentlicher Bedeutung. Deshalb ist man bestrebt, mit Hot-spot-Meßeinrichtungen diesen Heißpunkt ständig zu überwachen. Der potentielle Heißpunkt kann innerhalb einer Transformatorenwicklung an den unterschiedlichsten Stellen auftreten. Es müßten deshalb eine Reihe von Sensoren in den Spulen angebracht werden um den Heißpunkt zu erfassen. Das ist jedoch aus ökonomischen und hochspannungstechnischen Gründen nicht erwünscht. Mit den hier angegebenen Funktionen zur Berechnung der Wärmeübergangskoeffizienten, getrennt für Radial- und Axialkanäle, läßt sich mit geeigneten Programmen die höchste Temperatur in der Wicklung bestimmen. Der geometrische Ort ist aber nicht in jedem Fall mit Sicherheit anzugeben.

Literatur

[1] *Michailovski, J. A.; Shvidler, A. B.; Tarle, G. E.; Tchornogotsky, V. M.; Voerodin, I. D.; Lyublin, I. S.:* Methods of temperature rise calculations of power transformer windings. Cigré 12–16 (1984)

[2] *Wallnig, R.:* Über die Erwärmung und Kühlung von großen Öltransformatoren. Dissertation, TH Aachen 1980

[3] *Wilde, K.:* Wärme- und Stoffübergang in Strömungen, B. 1 Erzwungene und freie Strömung. Darmstadt: Dr. Dietrich Steinkopf Verlag 1978

[4] *Ranalskij, A. N.; Maskin, V. A.; Michailovski, J. A.:* Berechnung der maximalen Temperatur der Spulenwicklungen von Transformatoren. Električestvo (1981) 8, S. 45–47

[5] *Felber, W.; Hüttner, H.:* Die OD-Kühlung von Transformatoren. ELIN-Z. 28 (1976) 2, S. 72–79

EA 6081

FACHTAGUNGEN

Internationales Seminar „Sozopol EMC '89"

In der Zeit vom 19. bis 23. 09. 1989 fand in Sozopol, VR Bulgarien, ein intérnationales Seminar zu Fragen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV/EMC) statt. Es war das zweite seiner Art und wurde vom Institut für Mikroprozessortechnik Sofia und von der Technischen Hochschule für Elektrotechnik und Mechanik Sofia ausgerichtet und von Dr. *Lazarov*, dem Direktor des EMC-Labors der letztgenannten Einrichtung, geleitet. Von Teilnehmern aus Hochschulen, Industrieinstituten und Betrieben aus der VR Bulgarien, der Sowjetunion, der ČSSR, der DDR, der Schweiz und der VR Polen wurden folgende Vorträge gehalten und damit im Zusammenhang stehende Probleme diskutiert:

Svoboda, J.: Spezielle Probleme der EMV in der ČSSR

Stročkov, P. A.: Projekt eines EMV-Prüfzentrums in der UdSSR

Stoll, D.; Bukev, A.: Meßmethoden zur Messung des Innenwiderstands von Speisequellen

Gurvič, I. S., u.a.: Untersuchung der EMV-Probleme bei Personalcomputern

Lazarov, A.; Stojanova, M.: Relationales Datenbankmodell zur Sammlung von EMV-Daten

Minčev, C., u.a.: Aktive elektromagnetische Entstörung von Bildschirmgeräten

Sperling, A.: Elektrostatische Störbeeinflussung in Kraftfahrzeugen und ihre Beseitigung

Rüegg, E.: Gerätespektrum der Firma Schaffner, Schweiz, zur Entstörung und Störfestigkeitstestung von elektronischen Geräten

Güttler, P.: Verträglichkeits- und Sicherheitsaspekte bei elektromedizinischen Geräten und Einrichtungen

Gurvič, I. S.: Wirkung asymmetrischer Impulsstörungen auf digitale Einrichtungen

Gurvič, I. S.: Bewertung der Störempfindlichkeit digitaler Einrichtungen gegenüber Netzstörspannungen

Habiger, E.: Quantitative Beschreibung der EMV-Eigenschaften von Automatisierungsgeräten

Stojanov, S., u.a.: Entstörung von Elektrostahlöfen (Problematik der Stromrichternetzrückwirkungen)

Sinjagina, H.; Ivanov, I.: Einfluß von Ein- und Ausschaltvorgängen und den damit verbundenen Impulsstörungen auf rechentechnische Einrichtungen

Charlov, B.: Automatisiertes System zur Überwachung des Rundfunkspektrums

Izrael, M.: Messung der Feldeinwirkung auf den Menschen an Arbeitsplätzen

E. Habiger, Dresden

EK 4063

AUS ANDEREN ZEITSCHRIFTEN

Mikrowellentechnik in der Landwirtschaft

Borodin, I. F.: Električestvo (1989) 6, S. 1—8

Der Energieverbrauch der Landwirtschaft ist weiterhin im Steigen begriffen. Für einen Zuwachs von 1% landwirtschaftlicher Produktion sind heute durchschnittlich 2,5% mehr Energie erforderlich. Die Landwirtschaft der Sowjetunion verbraucht ein Zehntel der Elektroenergie. Ein Weg zur Senkung des Energieaufwandes besteht im verstärkten Einsatz von Mikrowellen, die in eine Resonanzwechselwirkung mit den landwirtschaftlichen Produkten und lebenden Organismen treten, und damit eine Erwärmung von innen her bewirken, wo die Wärmestromrichtung mit der der Feuchtigkeit aus dem Produkt zusammenfällt. Das verkürzt viele technologische Prozesse einschneidend und verringert dadurch den Energieaufwand.

In der Pflanzenproduktion finden heute Mikrowellen bei der Vorbereitung des Saatgutes auf die Aussaat (anstelle von giftigen Chemikalien), zur Bekämpfung von Unkräutern und Bodenkrankheiten, zur Stimulierung des Pflanzenwachstums und zum Trocknen sowie Konservieren der Samenkörner Anwendung. Die Bearbeitung von Saatkörnern, Gemüse-, Melonensamen und Kartoffeln mit Mikrowellen vor der Aussaat in einer Reihe von Sowchosen des Krasnojarsker Gebietes verminderte den Energieaufwand 15 bis 20mal, verkürzte den Zeitaufwand 2 bis 3mal und hob den Ernteertrag um 15 bis 20%. Die stärkste Verbreitung fanden Mikrowellenöfen bisher in Getreidetrocknungsanlagen, wo heute Produktivitäten von 0,2 bis 27 t/h bei einem Energieaufwand zur Entfernung eines Liters Feuchtigkeit von 0,2 bis 1,3 kWh erreicht werden. Die Leistung der dort eingesetzten Mikrowellenanlagen beträgt 2 bis 200 kW.

In der Tierproduktion werden Mikrowellen zur Futteraufbereitung, zur Stimulierung der Produktivität, zur Heilung einzelner Krankheiten sowie Kontrolle und Sortierung der Produkte eingesetzt. So wurden in der Sowjetunion gute Erfolge mit der Mikrowellenbehandlung der Euterentzündung erzielt. Nach 5 bis 8 täglichen Mikrowellenbestrahlungen des Euters und der Zitzen mit einer Frequenz von 40,7 MHz konnte bei 70% der Kühe die Euterentzündung geheilt werden. Mit einer kurzzeitigen Einwirkung von Mikrowellen (einige Sekunden) werden Kastrierungen ohne chirurgischen Eingriff erfolgreich durchgeführt. Diese Art der Kastrierung beeinflußt nachweislich den Gewichtszuwachs nicht negativ. Die Mikrowellenerhitzung von Bienenwaben erhöht den Honigausbeutungsgrad um 3 bis 5% und verkürzt die Wabenerwärmungszeit 50 bis 60mal. Die Mikrowellen erhitzen den Honig, und die Waben als ein dielektrisch durchlässiges Material werden nicht beschädigt.

Ein breites Aufgabengebiet obliegt den Mikrowellen bei der Parametermessung, Kontrolle und Sortierung von landwirtschaftlichen Produkten. So existieren Mikrowellen-Meßgeräte zur Feuchtigkeitsbestimmung oder Einschätzung der Frostbeständigkeit von Pflanzen. Mikrowellengeräte für die Kontrolle der Bodenfruchtbarkeit, der Bestimmung der Milchbestandteile (Fettgehalt, Eiweiße, Feststoffe usw.), zur Diagnostik der Euterentzündung und Qualitätskontrolle der verschiedensten landwirtschaftlichen Produkte befinden sich in der Entwicklung.

E. Broßmann, Berlin EK 4048

Regeln für den Betrieb und die Aufstellung von wasserstoffgekühlten Turbogeneratoren

Danilevič, Ja. B.: Električestvo (1989) 1, S. 88, 89

Unabhängig davon, daß vollständig wassergekühlte und luftgekühlte (bis 200 MVA) Turbogeneratoren in die Praxis Einzug hielten, fanden die Turbogeneratoren, deren Eisenblechpaket und Läufer von gasförmigen Wasserstoff gekühlt werden, die meiste Verbreitung.

Wasserstoffgekühlte Turbogeneratoren erreichten folgende langjährige Verfügbarkeiten: einer Leistung von 500 bis 800 MW, in den USA und BRD: 99%, 500 bis 660 MW, in Großbritannien: 99%, 250 bis 660 MW, in Frankreich: 96 bis 99% und 200 bis 300 MW, in der UdSSR sogar 99,7%. Trotz dieser herausragenden Betriebsergebnisse müssen weiterhin alle Maßnahmen getroffen werden, um bei Lecks die Bildung eines Knallgasgemisches im Maschinenhaus zu verhindern.

Die IEC-Empfehlung 842 von 1988 verallgemeinert die Betriebserfahrungen mit wasserstoffgekühlten Turbogeneratoren in der Welt. Erstmals werden Normalbetriebsregime definiert, die den Anfahr-, Abfahrbetrieb, sowie den Stillstand mit und ohne Wasserstoffüllung einschließen.

Zur Vermeidung der Korrosion der Läuferkappen ist eine effektive Wasserstoffgastrocknung unbedingt vorzusehen. Im Maschinenhaus sollen je Generator nicht mehr als 80 m³ Wasserstoff (bezogen auf Normalbedingungen) vorhanden sein, wovon nicht mehr als 20 m³ in den Betriebsprozeß einbezogen sein dürfen. Entsprechend IEC-Empfehlung darf in der Nähe des Generators und auch der Hilfsanlagen nicht geraucht oder mit offenen Feuer gearbeitet werden.

Bei plötzlichen Abfall des Wasserstoffgehaltes unter 90% im Generator und nicht möglicher kurzfristiger Anhebung des Wasserstoffniveaus ist der Generator vom Netz zu trennen. Die direkte Verdrängung des Wasserstoffs aus dem Generator mit Luft oder umgekehrt ist nicht zulässig. In beiden Fällen ist dafür Kohlendioxid einzusetzen, wobei elektrische Versuche am Generator während dieses Prozesses nicht durchgeführt werden dürfen. Der Wasserstoffverlust darf täglich 18 m³ (bezogen auf Normalbedingungen) nicht überschreiten. Bei der Suche nach einem Wasserstoffleck sollte keinesfalls das Deionatkühlsystem vergessen werden, durch das der Wasserstoff zu weit entfernten Stellen im Maschinenhaus gelangen und ausweichen kann.

E. Broßmann, Berlin EA 3063

BUCHER

Elektrische Antriebstechnik

Von *J. Vogel*. Berlin: VEB Verlag Technik 1989. 4., stark bearbeitete Auflage, 416 Seiten, 303 Bilder, 28 Tafeln. Kunstleder 25,50 M.

Die Bedeutung der elektrischen Antriebs- und Stelltechnik wächst aus den bekannten Gründen und wegen ihrer vorteilhaften Eigenschaften. Somit trägt der Verlag mit einer 4., stark überarbeiteten Auflage einem ausgeprägten Bedürfnis Rechnung. Die zahlreichen Aktualisierungen und Erweiterungen berücksichtigen den Stand auf dem Fachgebiet und beziehen somit die Mikroelektronik sowie rein digitale Regelkonzepte mit ein. Ein Ersatz des alten Titels „Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik mit Berechnungsbeispielen" durch den oben angeführten neuen erscheint daher berechtigt.

Ausgehend von einer Analyse der Stell- und Bewegungsvorgänge bei Motoren im Abschnitt 1 werden in 5 weiteren Kapiteln behandelt:

- Kennlinienfelder und Stellmöglichkeiten elektrischer Antriebsmaschinen (Gleichstrom-, Asynchron-, Synchron-, Kommutatormaschinen, Kupplungen) — Kapitel 2
- Typenleistung und Schutzeinrichtungen (Verluste, thermische Vorgänge, Betriebsarten, Schutzelemente u.ä.) — Kapitel 3
- leistungselektronische Stellglieder (für Gleichstromantriebe — 2-Puls-, 3-Puls-, 6-Puls-Schaltungen, Kombinationsstromrichter; für Drehstromantriebe — Steller, direkte und indirekte Umrichter; Netzrückwirkungen) — Kapitel 4
- stromrichtergespeiste Gleich- und Drehstromantriebe (stationäres und dynamisches Übertragungsverhalten, technologisch bedingte Zusatzregelungen, Bauglieder) — Kapitel 6
- elektrische Kleinantriebe (Gleichstrom-, Wechselstromantriebe, Universal-, Elektronik-, Schritt-Motoren) — Kapitel 7

Flankiert werden die darin enthaltenen, sehr instruktiven Aussagen von einem zweckmäßig gewählten Anhang (SI-Einheiten, Berechnen und Auswerten von Maschinenparametern, Kennwerte/Eigenschaften von Leistungshalbleitern und Stromrichterstellgliedern, Laplace-Transformation, Frequenzgangdarstellung, lineare und nichtlineare Reglerschaltungen, Standards), von einem nützlichen, weiterführenden Quellenverzeichnis, einem Sachwort- sowie einem Formelzeichenregister. Die Benutzerfreundlichkeit des Buches drückt sich zusätzlich in den zahlreichen Berechnungsbeispielen (etwa 100) aus.

Sein inhaltlicher Aufbau ist so nach didaktischen Gesichtspunkten gewählt, daß das Einarbeiten (ggf. in Verbindung mit den oben angeführten ergänzenden Literaturangaben) dem Leser keine Schwierigkeiten bereitet, sofern er über Kenntnisse in den Grundlagen der Elektrotechnik, der Elektromaschinenkunde und der Regelungstheorie verfügt. Kompatibel zum Vorgehen in der Praxis steht die Auswahl des Antriebs

bzw. seiner Komponenten nach technisch-ökonomischen Gesichtspunkten im Vordergrund.
Der angesprochene Leserkreis — Studenten des Elektroingenieurwesens und praktisch tätige Ingenieure auf diesem Fachgebiet — wird erreicht. Das Werk kann demzufolge auch weiterhin empfohlen werden.

J. Krause, Berlin EK 4069

Elektronische Schaltungstechnik

Von *R. Köstner; A. Möschwitzer*. Berlin: VEB Verlag Technik 1989. 5. Auflage, 312 Seiten, 356 Bilder, 37 Tafeln. Leinen, 42,— M

Das komplexe Fachgebiet der elektronischen Schaltungstechnik wird durch den Inhalt des Buches umfassend abgedeckt.
Es ist so angelegt, daß sowohl der Studierende als auch der bereits in der Praxis tätige Entwicklungsingenieur sich Wissen aneignen bzw. vorhandene Kenntnisse auffrischen und komplettieren kann.
Ausgehend von der Beschreibung passiver und aktiver diskreter Bauelemente, ihrer Zusammenschaltung zu Netzwerken einschließlich der dafür relevanten Berechnungsmöglichkeiten werden die Grundschaltungen der Analog- und Digitaltechnik behandelt.
Wertvoll ist die dabei stets gewahrte Nähe der Systemdarstellung zur technologischen Realisierung in Form von Halbleiterschaltungen.
Die jedes Kapitel abschließenden Aufgaben sind für eine Überprüfung und Vertiefung der Kenntnisse des dargelegten Inhaltes sehr gut geeignet.
Als gelungen ist auch die Einbeziehung hochintegrierter Mikrorechnerschaltkreise zu bezeichnen, die einen Überblick über die Speichertypen und ihre Funktionsweise einschließt.
Die wechselseitige Überführung analoger und digitaler Komponenten mit Hilfe der AD- bzw. DA-Wandler im abschließenden Kapitel runden die Darlegung zur elektronischen Schaltungstechnik ab.
Insgesamt steht mit der 5. bearbeiteten Auflage ein bereits bekanntes Fachbuch zur Verfügung, das dem Schaltungstechniker eine wertvolle Unterstützung bietet.

G. Scarbata, Ilmenau EK 4067

Elektrothermische Verfahren — Grundlagen, Technologien, Anwendungen

Von *M. Rudolph, H. Schaefer*, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokio, Hongkong: Springer-Verlag 1989, 401 Seiten, 188 Abb.

Mit der vorliegenden Monographie wird eine empfindliche Lücke im Fachbuchangebot zu elektrothermischen Verfahren auf modernsten Stand geschlossen. Im ersten Teil wird in zwei einführenden Abschnitten die Bedeutung der Elektrowärmetechnik für die industrielle Prozeßwärmeerzeugung unterstrichen und vor allem auf technisch-ökonomische und betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte bei ihrer Anwendung eingegangen. Die drei Abschnitte des zweiten Teils widmen sich den wärmetechnischen und elektrophysikalischen Grundlagen der elektrothermischen Prozesse. Im Hauptteil des Buches werden in acht Abschnitten ausführlich die Elektrowärmetechnologien, ihre Wirkungsweise sowie die Schwerpunkte und Grenzen ihrer Anwendung behandelt. Erfreulich ist, daß neben den „klassischen" Gebieten der Elektrowärmetechnik, der unmittelbaren und mittelbaren Widerstandserwärmung, der induktiven und dielektrischen Erwärmung sowie der Lichtbogenerwärmung die modernen, hocheffektiven Elektrostrahlverfahren, die Plasma-, Elektronen- und Laserstrahlerwärmung einbezogen wurden. Die Zuordnung der funkenerosiven Bearbeitung zur Lichtbogenerwärmung scheint nicht sinnvoll, da ja gerade eine Lichtbogenbildung bei diesem Verfahren ausgeschlossen werden muß. Die Zielstellung des Buches, Verständnis für das Fachgebiet bei einem breiten Leserkreis, der nicht speziell in der Materie beheimatet ist, zu fördern und eine Übersicht über den heutigen Stand aller Elektrowärmetechnologien zu geben, wurde erreicht. Das Buch ist vor allem als Grundlage für das Studium in den entsprechenden Fachdisziplinen ausgezeichnet geeignet und wird den auf dem Fachgebiet tätigen Ingenieuren und Technologen als Informationsbasis von Nutzen sein.

H. Conrad, Dresden EK 4070

Handbuch der Informationstechnik und Elektronik

Band 1, Teil 1: Mathematik.
Hrsg.: *Tilman Motz*. Heidelberg: Dr. Alfred Hüthig Verlag 1989. 208 Seiten
Band 1, Teil 2: Mathematik.
Hrsg.: *Tilman Motz*. Heidelberg: Dr. Alfred Hüthig Verlag 1989. 220 Seiten
Band 8: Sensoren und Wandlerbauelemente.
Hrsg.: *Claus Reuber*. Heidelberg: Dr. Alfred Hüthig Verlag 1989. 376 Seiten

Im Jahre 1949 erschien der erste Band eines Handbuches, das im Laufe der Zeit viele Auflagen erlebte, immer umfangreicher wurde und zuletzt (Anfang der 80er Jahre) 5 Bände mit etwa 3800 Seiten umfaßte: das „Handbuch für Hochfrequenz- und Elektro-Techniker", herausgegeben von *Curt Rint*. Viele Elektrotechniker haben es benutzt und geschätzt, waren aber auch manchmal verärgert, denn eine klare Systematik war nicht die Stärke des „*Rint*". Im Laufe der Auflagen war immer mehr Stoff angefügt worden, ohne die ursprüngliche Gliederung zu verlassen. So war z. B. die Mathematik auf die Bände 1 und 2 verteilt, Verfahren zur Schaltungsberechnung fanden sich in den Bänden 1, 2, 4 und 5, und Bauelemente waren gar in allen 5 Bänden beschrieben. Kein Wunder, daß ein rationeller Zugriff zum Stoff nur mit Hilfe eines 100seitigen Registers möglich war.
Nun legt der Hüthig Verlag ein neues Werk vor, das sich ausdrücklich als Nachfolger des alten versteht, was u. a. darin zum Ausdruck kommt, daß es das gleiche Format hat und daß einige der bisherigen Autoren wieder beteiligt sind. Dieses neue „Handbuch der Informationstechnik und Elektronik", das von 4 Herausgebern (*A. Lacroix, T. Motz, R. Paul* und *C. Reuber*) betreut wird, weist eine systematische, dem heutigen Kenntnisstand entsprechende Gliederung auf. Es soll 15 Bände umfassen, von denen einige wiederum aus Teilbänden bestehen, so daß sich insgesamt 21 Bücher ergeben. Extrapoliert man den Umfang der bisher vorliegenden bzw. konkret angekündigten Bände auf den Gesamtumfang, so dürften es etwa 6000 Seiten werden.
Der Band 1 (2 Teile) enthält auf etwa 430 Seiten die mathematischen Grundlagen, die der Informationstechniker benötigt. Das reicht von den Grundrechenarten über gewöhnliche und partielle Differentialgleichungen bis zu Boolescher Algebra, numerischer Mathematik, Wahrscheinlichkeitsrechnung, Zufallsprozessen und Distributionen. Ergänzt wird der Inhalt durch tabellarische Zusammenstellungen von physikalischen Konstanten, Einheiten einschließlich ihrer Umrechnungen und Formelzeichen sowie durch einen Abschnitt über physikalische Größen und Gleichungen. Dabei fällt auf, daß nicht alle Angaben auf dem neuesten Stand sind. So sind weder der neue konsistente Satz der physikalischen Konstanten nach dem CODATA-Bulletin Nr. 63 von 1986 noch die neue Meterdefinition von 1983 oder die neue Candeladefinition von 1979 angeführt.
Der Band 8 enthält auf 383 Seiten Informationen über Sensoren und Wandlerbauelemente. Nach einem einleitendem Abschnitt des Herausgebers *Reuber*, der einen Überblick über alle relevanten Sensorprinzipien bringt, werden dann Hall-Elemente (32 S.), optoelektronische Halbleiterbauelemente (134 S.) und Laser (103 S.) ausführlicher behandelt. Abschnitte über integrierte Optik (16 S.) und Digitaldisplays (24 S.) runden den Band ab. Natürlich hätte man sich auch ausführlichere Informationen über andere wichtige Sensoren, wie Temperatur-, Druck- und Dehnungssensoren, gewünscht, aber damit wäre wohl der gesteckte Rahmen gesprengt worden.
Man darf auf die weiteren Bände des Handbuchs gespannt sein.

R. Fischer, Berlin EK 4056

VORSCHAU FÜR ELEKTRIE 3/90

Muschick, E.: Elektronische Energiezähler für Haushalte?

Schulz, V.; Muschick, E.: Entwicklung und Tendenzen im Zählerwesen

Bittner, H.: Moderne elektronische Energiemeßverfahren

Schulz, V.; Pilz, E.: Modulares Konzept eines elektronischen Energiezählers (EEZ)

Pilz, E.: Stromwandlerkonzepte für elektronische Energiezähler

Die Redaktion

Documentation

Hauschild, W.

International and National Standardizing to the High-Voltage Testing Techniques by Example of the New IEC-Publication 60-1

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, pp. 4 – 6, 2 Figs., 1 Table, 4 Equations, 10 Refs.

The activities of the TC 42 of the IEC to actualizing the IEC-publications in the field of the high-voltage testing techniques (table 1) are represented, concentrating to illustrating the new IEC 60-1. Either these IEC-publications are taken over identically into the national standard opera or a national standard is eliminated and in the GDR over the IEC-publications is prepared, too.

Hauschild, W.; Spiegelberg, J.

Prerequisites to Confirming High-Voltage Measuring Systems

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, pp. 6 – 9, 3 Figs., 1 Table, 14 Refs.

After finishing the present revision of the IEC-publication 60 and its planned taking over into the national standard opera (TGL) high-voltage measuring systems have to be confirmed by reference measurings. Besides clearing organizational questions reference measuring systems (measuring uncertainty $\leq 1\,\%$) are needed to that. On base of a cooperation over several years with the Soviet institute WNIIMS of Moscow it was proved, that reference measuring systems for all voltage forms may be structured with componente of the testing plant assortment of the VEB TuR.

Schurawljew, E. N.; Jaroslawski, W. N.; Mauksch, S.; Spiegelberg, J.

New Special Normal for High D.C. Voltages from the USSR

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, pp. 9 – 12, 6 Figs., 7 Equations, 12 Refs.

The new special normal DWINA is represented, devaloped from the Scientific All-Union Research Institute of Measuring WNIIMS of Moscows/USSR, and its application by example of calibrating reference systems in the VEB TuR is illustrated.

Mauksch, S.; Sähn, M.; Spiegelberg, J.

New Series of Pressed Gas Capacitors of 100 to 700 kV

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, pp. 12 – 14, 5 Figs., 1 Table, 12 Refs.

On base of new issulating materials (glass fibre reinforced insulating pipes and SF_6 as insulating gas) was developed a new series of pressed gas capacitors. It fulfills not only all prerequisites of operating measuring systems of high testing voltages, but with its aled also high-precise reference measuring systems may be structured.

Schufft, W.

Electrodes of High-Voltage Testing Plants — Functional Importance and Technological State

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, pp. 14 – 16, 4 Figs., 9 Refs.

The insulating capacity of the atmospheric air at high-voltage testing plants may be guaranteed only by using electrodes of great areas with weak curvature. By means of optimum electrode dimensionings important economical effects may be reached, which result in minimum material expenditure and in reduced technological costs for the high-voltage electrodes as well as in a low space requirements for the high-voltage testing plant. The useable types of electrodes are compared with regard to its manufacturing technologies and its discharge behaviours.

Vetters, G.; Thümmler, K.

New Peak Voltage Measuring Devices with Digital Direct Display

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, pp. 25 – 26, 4 Figs., 1 Ref.

A new family of peak voltage measuring devices is represented. With the device family the wishes for handy and cost effective standard measuring devices on the one hand and for comfortable measuring devices, corresponding with microcomputers and being useful also in reference measuring systems, on the other hand are fulfilled.

Schmiegel, P.

Partial Discharge and Surface Charge Phenomena at Insulating Material Boundary Surfaces in Air during D.C. Voltage Loading

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, pp. 27 – 30, 5 Figs.. 12 Refs.

Studies about the partial discharge use and the surface charge accumulation at insulating material boundary surfaces with variation of the relative air humidity, the surface resistance and the insulating materials are represented. In the result two fundamental forms of the surface charge accumulation with different relevance to the partial discharge use are distinguished.

Menzel, W.; Bärsch, R.

Influence of the Air Humidity on the Arcing of Plastic Inner Room Insulations with Surface Coatings

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, pp. 30 – 32, 4 Figs., 2 Equations, 10 Refs.

On base of studies to the influence of the air humidity and of the loading time on the insulating capacity of differently coated pressed-paper insulations conclusions about the using possibilities under complicated climatic environmental conditions are made, and selecting criteria for surface coatings are recommended.

Engelmann, E.; Pollack, A.

New Device Generation for the High-Voltage Practicum

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, pp. 33 – 34, 3 Figs.

To demonstrating the circuits of the most important high-voltage testing plants, adapted to generating high d.c., a.c., and impulse voltages, as well as of different methods of measuring high d.c. and a.c. voltage during the high-voltage practicum special devices and models are necessary. A new generation of those models has been developed in connection with the plant exporting porject Institute of Electrotechniques of Bejaia/Algeria.

Lobenstein, G.

To the Warm Point Determination in Great Transformer Coils

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, pp. 34 – 36, 2 Figs., 9 Equations, 5 Refs.

The occurence of potential warm points in great transformer coils is discussed. To computing them different formulas are given for the heat transfers into radial and axial cooling channels. The values are valid to the OD and OF-cooling. It is stated, that the warm point may be computed with satisfying precision, but that an exact fixing of the positions is problematically, especially during OF-cooling.

Документация

Хаушильд, В.

Международная и национальная стандартизация по высоковольтной испытательной технике на примере новой публикации МЭК 60-1

ELEKTRIE Берлин 44 (1990) 1, стр. 4 – 6, 2 рис., 1 табл., 4 уравн., 10 лит.

Представляются действия технического комитета ТС 42 МЭК по актуализации публикаций МЭК в области техники высоковольтных испытаний (таблица 1), при чем особое внимание уделяется пояснению новой публикации МЭК 60-1. В издание национальных стандартов такие публикации МЭК вводятся либо в идентичном виде, либо от издания национального стандарта отказываются, подготавливая внедрение публикаций МЭК в ГДР в форме оригинала.

Хаушильд, В.; Шпигельберг, Й.

Предпосылки для утверждения высоковольтных измерителных систем

ELEKTRIE Берлин 44 (1990) 1, стр. 6 – 9, 3 рис., 1 табл., 14 лит.

После завершения проводимого в настоящее время пересмотра Публикации МЭК 60 и запланированного, внедрения ее в качестве национального стандарта (ТГЛ), высоковольтные измерительные системы будут подлежать утрверждению путем проведения эталонных измерений. Помимо уточнения организационных вопросов для этого требуются опорные измерительные системы (с погрешностью измерения $\leq 1\%$). На базе многолетнего сотрудничества с советским институтом ВНИИМС, Москва, подтверждено, что компоненты ассортимента испытательных установок TuR обеспечивают возможность организации опорных измерительных систем для всех видов напряжения.

Журавлев, Е. Н.; Ярославский, В. Н.; Маукш, С.; Шпигельберг, Й.

Новый специализированный эталон для высоких напряжений из СССР

ELEKTRIE Берлин 44 (1990) 1, стр. 9 – 12, 6 рис., 7 уравн., 12 лит.

Представляется новый специализированный эталон ДВИНА, разработанный Всесоюзным научноисследовательским институтом метрологических средств ВНИИМС, Москва, СССР. Применение его описывается на примере калибровки опорных измерительных систем на народном предприятии TuR.

Маукш, С.; Ээн, М.; Шпигельберг, Й.

Новый конструкционный ряд конденсаторов под давлением газа 100 до 700 кВ

ELEKTRIE Берлин 44 (1990) 1, стр. 12 – 14, 5 рис., 1 табл., 12 лит.

На базе новых изоляционных материалов (стекловолокнистых изоляционных трубок и SF_6 в качестве элегаза) создана новый конструкционный ряд конденсаторов под давлением газа. Данный ряд не только выполяет все условия для создания эксплуатуционных измерительных систем для высоких испытательных напряжений, с их помошью можно построить и сверхточные опорные измерительные системы.

Шуффт, В.

Электроды на высоковольтных испытательных установках — их фукциональное значение и технологическое состояние

ELEKTRIE Берлин 44 (1990) 1, стр. 14 – 16, 4 рис., 9 лит.

Изоляционная способность атмосферного воздуха на высоковольтных испытательных установках может обеспечиваться только за счет применения крупноплоскостных слегка согнутых электродов. Благодаря оптимальному расчету электродов могут достигаться значительные экономические эффекты, которые выражаются в минимизированной материалоемкости и в пониженных технологических затратах на высоковольтные электроды, а также в незначительной потребляемой площади для высоковольтной испытательной установки. Общепринятые типы электродов сравниваются относительно технологии их изготовления и жарактериситики разряда.

Феттерс, Г.; Тюммлер, К.

Новые амплитудные вольтметры с непосредственной цифровой индикацией

ELEKTRIE Берлин 44 (1990) 1, стр. 25 – 26, 4 рис., 1 лит.

Представляется новое семейство амплитудных вольтметров. Этим семейством измерительных приборов выполняются с одной стороны желания иметь малогабаритные и недорогие стандартные измерительные приборы, а с другой стороны желания иметь комфортабельные измерительные приборы, позволяющие сопряжение их с микро ЭВМ и применение их в опорных измерительных системах.

Шмигель, П.

Феномены частичного разряда и поверхностного заряда на граничных плоскостях изоляционных материалов в воздухе при нагрузке постоянным напряжением

ELEKTRIE Берлин 44 (1990) 1, стр. 27 – 30, 5 рис., 12 лит.

Представляются исследования по начальному моменту частичного разряда и по аккумуляции поверхностного заряда на граничных плоскостях изоляционных материалов при варьировании относительной влажности воздуха, поверхностного сопротивления и изоляционных материалов. В результате различают две основные формы аккумуляции поверхностного заряда с различной релевантностью для начального момента частичного разряда.

Менцель, В.; Бэрш, Р.

Влияние влажности воздуха на пробой пластмассовых изоляций закрытых помещений с поверхностными покрытиями

ELEKTRIE Берлин 44 (1990) 1, стр. 30 – 32, 4 рис., 2 уравн., 10 лит.

На базе исследований влияния влажности воздуха и продолжительности нагрузки на изоляционные свойства гетинаксовых изоляций с различными покрытиями делаются выводы относительно возможностей их применения в более строгих климатических условиях окружающей среды и рекомендуются критерии для выбора поверхностных покрытий.

Энгельманн, З.; Поллак, А.

Новое поколение приборов для практических занятий по высоким напряжениям

ELEKTRIE Берлин 44 (1990) 1, стр. 33 – 34, 3 рис.

Для демонстрации схем важнейших высоковольтных испытательных установок для генерирования высоких постоянных, переменных и импульсных напряжений, а также для демонстрации различных методов измерения высоких постоянных и переменных напряжений при проведении практических занятий по высоким напряжениям требуются специализированные приборы и модели. Новое поколение таких моделей было создано в связи с экспортом установок для электротехнического института Бежая в Алжире.

Лобенштайн, Г.

По вопросу определения горячих точек в крупных трансформаторных катушках

ELEKTRIE Берлин 44 (1990) 1, стр. 34 – 36, 2 рис., 9 уравн., 5 лит.

Обсуждается появление потенциальных горячих точек в крупных трансформаторных катушках. Для их расчета приводятся разные формулы для тепловых переходов в радиальных и соосных каналах охлаждения. Приведенные данные действительны для охлаждения OD и OF. Отмечается, что горячая точка может вычисляться с достаточной точностью, однако четкая фиксация местонахождения ее встречает проблемы, в частности в случае охлаждения OF.

Dokumentation

Hauschild, W.
Internationale und nationale Standardisierung zur Hochspannungsprüftechnik am Beispiel der neuen IEC-Publikation 60-1
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, S. 4–6, 2 Bilder, 1 Tafel, 4 Gln., 10 Lit.
Die Aktivitäten des TC 42 der IEC zur Aktualisierung der IEC-Publikationen auf dem Gebiete der Hochspannungsprüftechnik (Tafel 1) werden mit dem Schwerpunkt der Erläuterung der neuen IEC 60-1 vorgestellt. In das nationale Standardwerk werden diese IEC-Publikationen entweder identisch übernommen oder es wird auf einen nationalen Standard verzichtet und in der DDR ebenfalls die Übernahme der IEC-Publikationen vorbereitet.

Hauschild, W.; Spiegelberg, J.
Voraussetzungen zur Bestätigung von Hochspannungs-Meßsystemen
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, S. 6–9, 3 Bilder, 1 Tafel, 14 Lit.
Nach Abschluß der derzeitigen Überarbeitung der IEC-Publikation 60 und deren geplanter Übernahme in das nationale Standardwerk (TGL) müssen Hochspannungsmeßsysteme durch Referenzmessungen bestätigt werden. Neben der Klärung organisatorischer Fragen werden dafür Referenzmeßsysteme (Meßunsicherheit $\leq 1\,\%$) benötigt. Auf der Basis einer mehrjährigen Zusammenarbeit mit dem sowjetischen Institut WNIIMS Moskau wurde nachgewiesen, daß aus Komponenten des TuR-Prüfanlagensortiments Referenzmeßsysteme für alle Spannungsformen aufgebaut werden können.

Schurawljew, E. N.; Jaroslawski, W. N.; Maucksch, S.; Spiegelberg, J.
Neues Spezialnormal für hohe Gleichspannungen aus der UdSSR
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, S. 9–12, 6 Bilder, 7 Gln., 12 Lit.
Es werden das vom Wissenschaftlichen-Allunions-Forschungsinstitut für Meßwesen WNIIMS Moskau/UdSSR entwickelte neue Spezialnormal DWINA vorgestellt und die Anwendung am Beispiel der Kalibrierung von Referenzmeßsystemen im VEB TuR dargelegt.

Maucksch, S.; Sähn, M.; Spiegelberg, J.
Neue Baureihe Preßgaskondensatoren 100 bis 700 kV
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, S. 12–14, 5 Bilder, 1 Tafel, 12 Lit.
Auf der Basis neuer Isoliermaterialien (glasfaserverstärkte Isolierrohre und SF_6 als Isoliergas) entstand eine neue Baureihe Preßgaskondensatoren. Diese erfüllt nicht nur alle Voraussetzungen für Betriebsmeßsysteme für hohe Prüfspannungen, mit ihrer Hilfe können auch hochgenaue Referenzmeßsysteme aufgebaut werden.

Schufft, W.
Elektroden an Hochspannungs-Prüfanlagen – funktionelle Bedeutung und technologischer Stand
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, S. 14–16 u. 30, 4 Bilder, 9 Lit.
Das Isoliervermögen der atmosphärischen Luft an Hochspannungs-Prüfanlagen kann nur durch den Einsatz großflächiger, schwachgekrümmter Elektroden gewährleistet werden. Aus einer optimalen Elektrodendimensionierung lassen sich beachtliche ökonomische Effekte erzielen, die sich in einem minimierten Materialeinsatz und einem gesenkten technologischen Aufwand für die Hochspannungselektroden sowie einem geringen Platzbedarf für die Hochspannungs-Prüfanlage ausdrücken. Die gebräuchlichen Elektrodentypen werden bezüglich ihrer Herstellungstechnologie und ihres Entladungsverhaltens verglichen.

Vetters, G.; Thümmler, K.
Neue Scheitelspannungs-Meßgeräte mit digitaler Direktanzeige
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, S. 25–26, 4 Bilder, 1 Lit.
Es wird eine neue Familie von Scheitelspannungs-Meßgeräten vorgestellt. Mit der Gerätefamilie werden die Wünsche einerseits nach handlichen und kostengünstigen Standardmeßgeräten, andererseits nach mit Mikrorechnern korrespondierenden Komfortmeßgeräten, die auch in Referenzmeßsystemen einsetzbar sind, erfüllt.

Schmiegel, P.
Teilentladungs- und Oberflächenladungsphänomene an Isolierstoffgrenzflächen in Luft bei Gleichspannungsbelastung
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, S. 27–30, 5 Bilder, 12 Lit.
Es werden Untersuchungen zum Teilentladungseinsatz und zur Oberflächenladungsakkumulation an Isolierstoffgrenzflächen unter Variation der relativen Luftfeuchtigkeit, des Oberflächenwiderstandes und der Isolierstoffe vorgestellt. Im Ergebnis werden zwei grundsätzliche Formen der Oberflächenladungsakkumulation mit unterschiedlicher Relevanz für den Teilentladungseinsatz unterschieden.

Menzel, W.; Bärsch, R.
Einfluß der Luftfeuchte auf den Überschlag von Kunststoff-Innenraumisolierungen mit Oberflächenbeschichtungen
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, S. 30–32, 4 Bilder, 2 Gln., 10 Lit.
Auf der Grundlage von Untersuchungen zum Einfluß der Luftfeuchte und der Beanspruchungszeit auf das Isoliervermögen von unterschiedlich beschichteten Hartpapierisolierungen werden Schlußfolgerungen für deren Einsatzmöglichkeiten unter erschwerten klimatischen Umgebungsbedingungen gezogen und Auswahlkriterien für Oberflächenbeschichtungen empfohlen.

Engelmann, E.; Pollack, A.
Neue Gerätegeneration für das Hochspannungs-Praktikum
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, S. 33–34, 3 Bilder
Zur Demonstration der Schaltungen der wichtigsten Hochspannungs-Prüfanlagen zur Erzeugung hoher Gleich-, Wechsel- und Impulsspannungen sowie verschiedener Methoden der Messung hoher Gleich- und Wechselspannungen im Hochspannungs-Praktikum sind spezielle Geräte und Modelle notwendig. Eine neue Generation dieser Modelle ist im Zusammenhang mit dem Anlagenexportvorhaben Institut Elektrotechnik Bejaia/Algerien entstanden.

Lobenstein, G.
Zur Heißpunktbestimmung in großen Transformatorenspulen
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 1, S. 34–36 ,2 Bilder, 9 Gln., 5 Lit.
Es wird das Auftreten potentieller Heißpunkte in großen Transformatorenspulen diskutiert. Zu deren Berechnung werden für die Wärmeübergänge in radialen und axialen Kühlkanälen unterschiedliche Formeln angegeben. Die Angaben gelten für die OD- und OF-Kühlung. Es wird festgestellt, daß sich der Heißpunkt mit zufriedenstellender Genauigkeit errechnen läßt, eine genaue Fixierung des Ortes, besonders bei OF-Kühlung, aber problematisch ist.

ELEKTRIE

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 011228 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Ing. *Günther Barth*, Redakteur (Telefon 2870343)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
Gesamtherstellung	III/18-328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf 7122 Borsdorf
Gestaltung	Ursula Maria Lange
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14. PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 8 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157, Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R. E. P., 11a, Rue Paris, Sofia.
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS – Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezská 11, 120000 Praha 2 PNS, ústredna Expedicia a Dovoz Tlače Praha, Posta 022, 88547 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knijiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knijižarsko Produzéće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No. 407, Cuidad Habana
Republik Polen	C.K.P.i.W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
Rumänien	D.E.P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Republik Ungarn	P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Oszály, P.O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Ha Noi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH+ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurürfstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29

Ihre Forderung: Universell einsetzbare Prüfanlage kleiner Leistung

Unsere Lösung: TuR-Hochspannungs-Bausteinsystem

Auf der Basis von 5 Prüftransformatoren werden gegenwärtig 22 Standardvarianten angeboten, die es dem Anwender ermöglichen, kleine Prüfanlagen für Wechselspannung bis 100 kV und Gleichspannung bis 350 kV (Bild 1: GBS 3/80) aufzubauen.

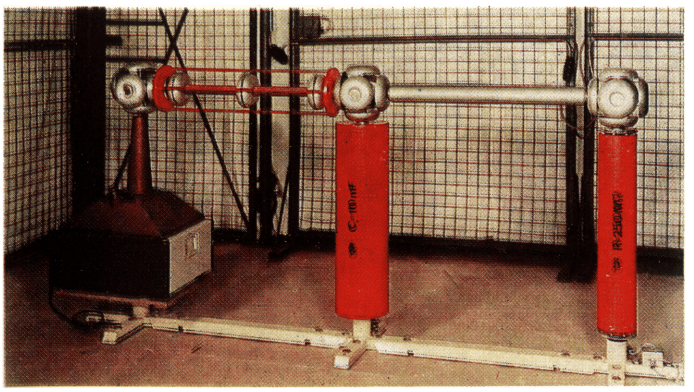


Bild 1. Gleichspannungs-Prüfanlage GBS 3/80 f ür 80 kV/3 mA

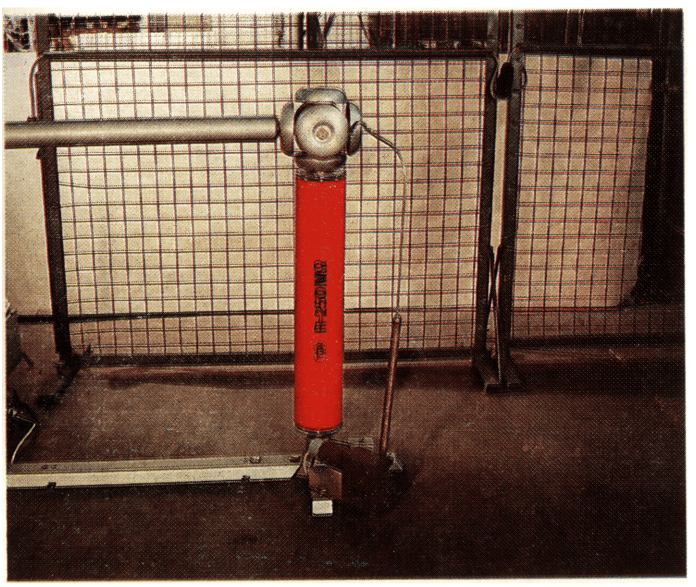


Bild 2. elektrische Entladeeinrichtung ERE 150 im geerdeten Zustand

Darüber hinaus steht dem Kunden ein umfangreiches Sortiment neuer Zusatzbausteine zur Verfügung, z. B. eine elektrische Entladeeinrichtung (Bild 2) sowie Prüfzeituhr/Begrenzer auf Basis eines Einchipmikrorechners (Bild 3).

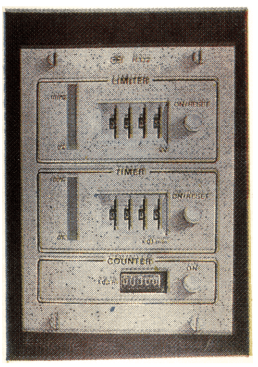


Bild 3. Prüfzeituhr/Begrenzer H 332

Das zuletzt genannte Gerät gestattet neben der Zählung der Betriebsstunden das Einstellen der Prüfzeit sowie die Überwachung der vorgewählten Hochspannung.
Beide Bausteine arbeiten in Kombination mit dem Steuergerät.

Für besonders hohe Ansprüche an die Meßgenauigkeit der Wechselspannungsmessung wurde ein Preßgaskondensator (Bild 4) entwickelt, der darüber hinaus als Kapazitätsnormal eingesetzt werden kann.

An der weiteren Vervollständigung des Hochspannungs-Bausteinsystems wird gearbeitet, dabei werden Komponenten zur Erzeugung von Impulsspannungen sowie zu Prüfungen der elektromagnetischen Verträglichkeit in Kürze auf den Markt kommen.

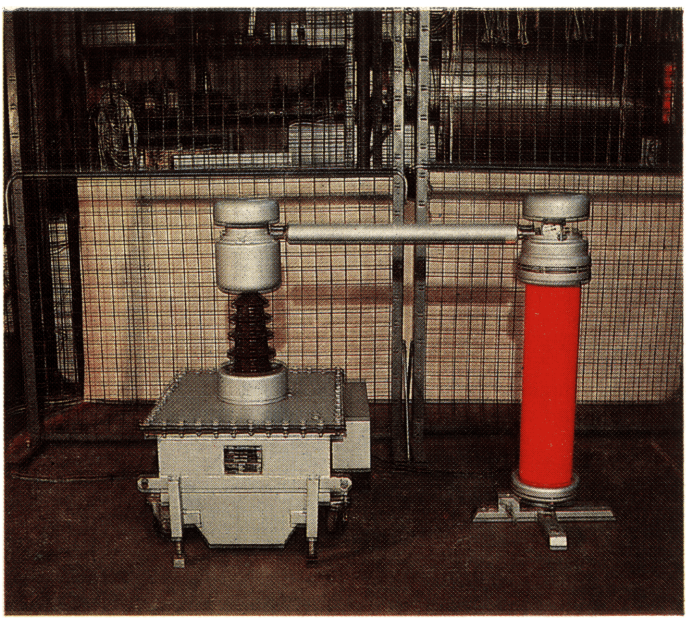


Bild 4. Wechselspannungs-Prüfanlage WBS 4,4/100 mit Preßgaskondensator MCP 100

Ihre Anfragen richten Sie bitte an:

VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern"

Overbeckstraße 48, Dresden, DDR — 8030
Betrieb des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau

Exporteur:

AHB Elektrotechnik Export — Import

Alexanderplatz (Haus der Elektroindustrie)
Berlin, DDR — 1026

6730 1 177 027 465
KOMB KERAM WERKE
8612 7001 0156 PF 1

ISSN 0013—5399
ELEKTRIE · Berlin 44 (1990) 1 · S. 1—40

Montage einer Wechselspannungs-Prüfanlage 3 MV/12,6 MVA

Im VEB TuR ist, wie bereits berichtet, eine neue Generation von besonders leistungsstarken Wechselspannungs-Prüfanlagen entwickelt worden[1]). Die Maximalvariante mit einer Ausgangsleistung von 12,6 MVA ist für die bisher im Weltmaßstab noch nicht erreichte Wechselspannung von 3 MV gegen Erde ausgelegt (Bild 1); sie wurde als erste Anlage dieser neuen Baureihe produziert und ist in mehreren Teillieferungen an den Auftraggeber, das Allunionsinstitut für Elektrotechnik in Moskau, ausgeliefert worden.

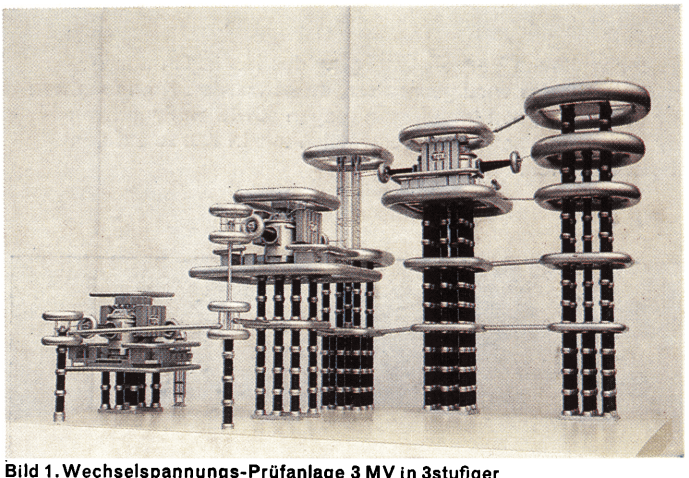


Bild 1. Wechselspannungs-Prüfanlage 3 MV in 3stufiger Kaskadenschaltung (Modell)

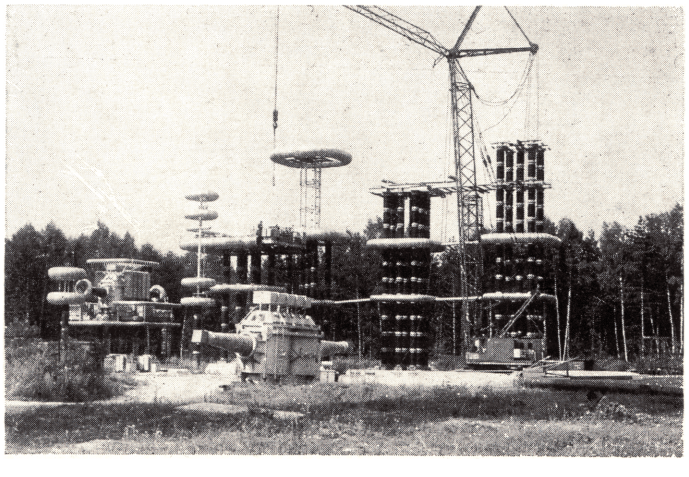


Bild 2. Montage der 3-MV-Prüfanlage am Einsatzort

Derzeitig wird diese Prüfanlage an ihrem Einsatzort — in der Nähe von Moskau — montiert. Bild 2 zeigt hierzu den Arbeitsstand vom Juli 1989. Hauptproblem der Montage ist das Heben der 88 t schweren Prüftransformatoren auf ihre Isolierpodeste mit Hubhöhen von 5 m, 12 m und 20 m. Der Auftraggeber ist bemüht, für diese Hübe die vorhandene landeseigene schwere Hubtechnik einzusetzen. Bild 3 zeigt hierzu das Aufsetzen des untersten Transformators auf sein Isolierpodest mittels zweier Mobilkräne. Dieses Aufsetzen muß mit Rücksicht auf die begrenzte Umbruchfestigkeit der Porzellan-Isoliersäulen sehr präzise unter weitgehender Vermeidung von horizontalen Kraftkomponenten erfolgen. Dies gilt umso mehr für das Aufsetzen des zweiten und dritten Transformators.

Eine Größenvorstellung von der dritten Kaskadenstufe vermittelt Bild 2. Der Isoliersäulenaufbau links neben dem Kranmast ist für das Aufsetzen des Transformators III vorbereitet. Die Isoliersäulengruppe rechts vom Kranmast enthält den kapazitiven Spannungsteiler, sie hat noch nicht die volle Bauhöhe erreicht. Die Stahlrohr-Konstruktion mit großer Kopfelektrode dicht am Kranhaken dient zur Aufnahme der 10-kV-Einspeiseleitung für den Transformator III. Falls sich bei künftigen Aufträgen für den Hub der Transformatoren III die beim Auftraggeber verfügbare Hubtechnik als nicht ausreichend erweisen sollte, steht im VEB TuR ein für diese Aufgabe vom Forschungszentrum Fluidtechnik der DDR speziell entwickeltes Hubportal bereit[2]).

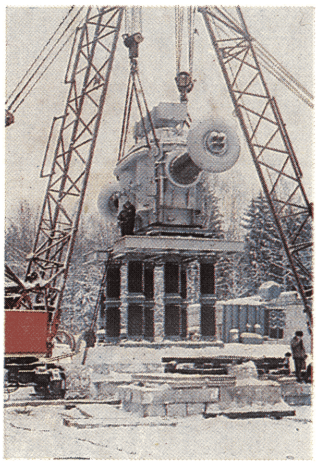


Bild 3. Hub des untersten Prüftransformators auf sein Isolierpodest

Montage und Installation der gesamten Anlage wurden noch 1989 im wesentlichen abgeschlossen werden. Über die anschließend durchzuführende Inbetriebnahme wird zu gegebener Zeit noch berichtet werden.

[1]) Siehe hierzu ELEKTRIE 4/88, Beiträge auf Seiten 125 bis 133

[2]) Siehe hierzu ELEKTRIE 4/88, Techn. Mitteilung 1. Umschlagseite

Ihre Anfragen richten Sie bitte an:

TuR DRESDEN

VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern"

Overbeckstraße 48, Dresden, DDR — 8030
Betrieb des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau

Exporteur:

AHB Elektrotechnik Export-Import

Alexanderplatz (Haus der Elektroindustrie)
Berlin, DDR — 1026